PHILIPS



CURSUS BEDRIJFSELEKTRONICA

Elektronische componenten

Leerlingboek BS 1

Philips Nederland B.V. - Afd. Onderwijsactiviteiten

Tweede, herziene druk 1976

Vierde druk 1978

Zesde druk 1980

161220·1

PHILIPS



CURSUS BEDRIJFSELEKTRONICA

Elektronische componenten

Leerlingboek BS 1

Philips Nederland B.V. - Afd. Onderwijsactiviteiten

OVER DEZE SCANS
Als basis voor deze scans hebben wij gebruik gemaakt van de door 'Freeservicemanuals' in 2018 gemaakte scans. Wij hebben de pagina's van deze scans echter zorgvuldig naar de originele staat gerestaureerd, onder andere door alle persoonlijke notities en de antwoorden op alle oefeningen en vragen te verwijderen.

Tweede, herziene druk 1976

Vierde druk 1978

Zesde druk 1980

161220·1

D E E L   B

C O M P O N E N T E N

INHOUDSOPGAVE

BS 9	B308	De triode.
	B309	De I_a - U_g karakteristiek.
	B310	De I_a - U_a karakteristiek.
	B311	Vergelijking van de overdrachts- en uitgangskarakteristiek.
	B312	De pentode.
	B313	Karakteristieken van de pentode.
	B314	De kathodevolger.
	B315	Instelling en controle van een versterkertrap.
	B316	Herhaling triode en pentode.
	B317	Herhaling buizen.
BS 10	B401	Passieve componenten en verbindingen.
	B402	Halfgeleiderdioden.
	B403	Actieve halfgeleidercomponenten I.
	B404	Actieve halfgeleidercomponenten II.
	B405	Halfgeleiderversterker.



d

B 001

INLEIDING TOT HET B-DEEL VAN DE CURSUS

AAN DE START VAN EEN NIEUW DEEL

We gaan beginnen aan het tweede deel van de cursus: "BEDRIJFSELEKTRONICA". De gehele cursus bestaat uit vier delen:

A - BASISELEKTRONICA
B - COMPONENTEN
C - ANALOGE ELEKTRONISCHE SCHAKELINGEN
D - DIGITALE ELEKTRONISCHE SCHAKELINGEN.

Het eerste deel hebt u achter de rug. Hierin kwamen achtereenvolgens aan de orde:

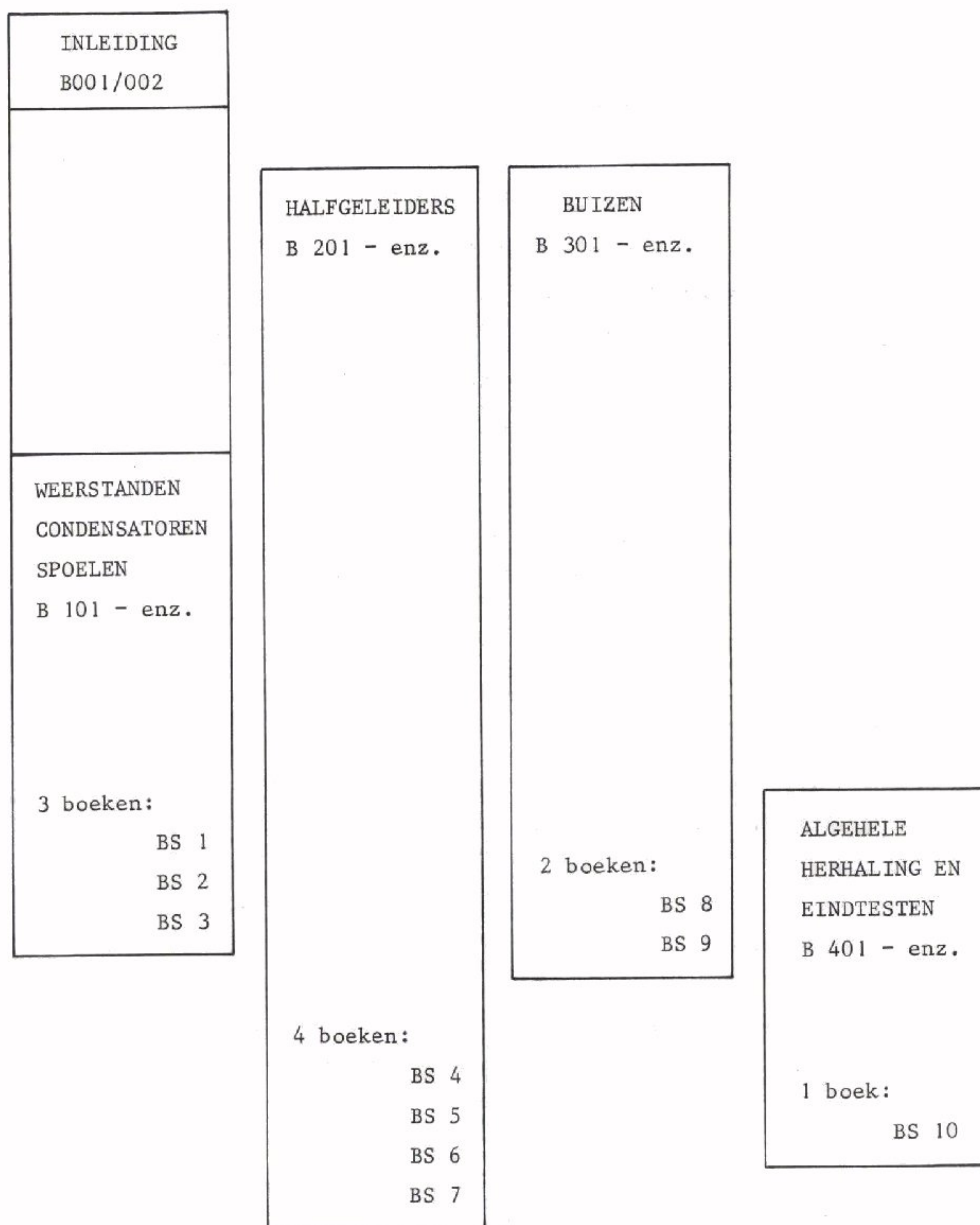
- de grondbeginselen van de gelijkstroomtheorie,
- de grondbeginselen van de wisselstroomtheorie,
- de condensator,
- de spoel en de transformator,
- enige bijzondere onderwerpen, zoals resonantie, filters en modulatie.

Tevens werd in dit eerste deel aandacht besteed aan enige rekenkunde, algebra en het tekenen en aflezen van grafieken.

In het nu volgende tweede deel van de cursus komen de verschillende onderdelen die in de elektronica worden gebruikt, de zogenaamde *componenten*, aan de orde.
Tijdens de behandeling van het A-gedeelte zijn reeds enige componenten ter sprake geweest, maar hier gaan we er veel meer behandelen. Op volgend blad ziet u een overzicht van het B-deel.

Na B volgen nog de delen C en D. Daar krijgen we te maken met complete elektronische schakelingen.

BLOKSCHEMA VAN HET B-DEEL VAN DE CURSUS



TOELICHTING OP HET BLOKSCHEMA

Op het blad hiernaast is een overzicht gegeven van het tweede deel van de cursus "Bedrijfselektronica", het B-deel "componenten".

Het meest opvallende is dat dit deel uit vier blokken bestaat die los van elkaar staan. Deze blokken hebben zelfs elk een aparte nummering; achtereenvolgens beginnend met B 101, B 201, enz.
Deze vier "eilanden" in het schema bevatten onderwerpen die als afgeronde eenheden behandeld kunnen worden. Dit is om de volgende reden gedaan.
Het komt nogal eens voor dat (oudere) onderhoudstechnici een hiaat vertonen in hun vakbekwaamheid. Zij weten b.v. niets of te weinig van halfgeleiders. Het is dan mogelijk dat zij in een korte cursus alleen de boeken BS 4 t.e.m. 7 doornemen. Voor de andere blokken geldt hetzelfde.

Laten we de afzonderlijke delen van het schema van het vorig blad eens bekijken.
Bovenaan ziet u twee inleidende lessen; deze is daar de eerste van. De volgende bevat een samenvatting van enige rekenkunde uit het A-deel.

Geheel links staat het blok: "*weerstanden, condensatoren en spoelen*".
Van deze componenten hebben we in het A-deel reeds heel wat geleerd. Hier gaan we er nader op in.

Daarnaast ziet u het grootste blok van het B-stuk, dat van de *halfgeleiders*.
Hier komen de halfgeleiderdioden en de transistors aan de beurt.

Rechts naast dit blok staat dat van de *buizen*. Hier komen de vanouds bekende vacuümbuizen, zoals de diode en de triode, enz. aan de orde.

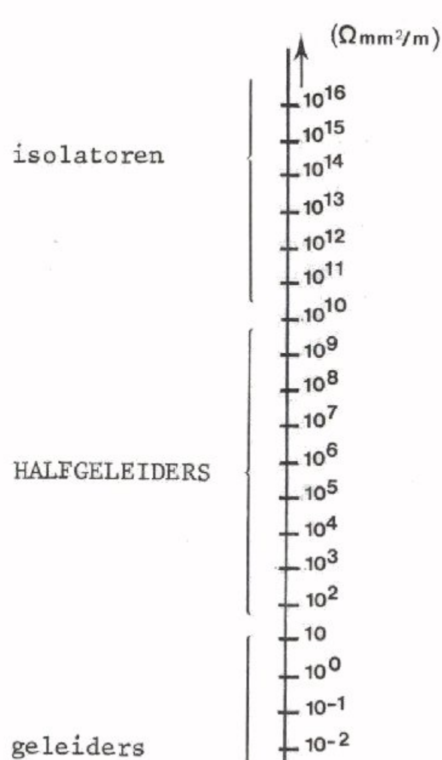
Tenslotte vindt u een klein blok *algehele herhaling en eindtesten*. Daarin wordt het gehele B-deel nog eens herhaald in een aantal lessen en kunt u in een tweetal eindtesten laten zien of u de stof inderdaad onder de knie hebt.

HOE MOETEN WE STUDEREN?

Vele cursussen worden gegeven met behulp van een boek of dictaat, waarin beknopt en vaak nogal onduidelijk een bepaalde leerstof wordt uiteengezet. Een of twee keer per week komen leerlingen in een klas bijeen met een leraar die nadere toelichting geeft, oefeningen maakt, vragen beantwoordt enz.
Bij een vak als elektronica is er dan in het gunstigste geval afzonderlijk een aantal lessen waarin metingen worden verricht.

In deze cursus gaan we op een andere manier te werk. Telkens krijgt u porties leerstof aangeboden. Hierin is getracht een uitvoerige en zo duidelijk mogelijke uiteenzetting te geven van telkens kleine brokjes leerstof. Bij deze uitleg vindt u soms vragen, sommetjes, enz. Herhaaldelijk treft u ook opdrachten aan die u samen met een partner-cursist op een oefenpaneel moet uitvoeren. Vooral dit laatste is erg belangrijk, want het blijft zodoende geen dooie theorie, maar telkens krijgt u de kans om deze theorie in praktijk te brengen. U leert b.v. op papier iets over de werking van een transistor en direct daarna kunt u die transistor ook op uw oefenpaneel zien werken. Wij menen dat zo'n cursus veel plezieriger is en dat u bovendien het vak elektronica sneller en veel beter leert. De rol van de leraar is dan ook een andere dan die u van een "schoolmeester" gewend bent. In deze cursus is hij niet voortdurend aan het woord en heeft hij veel meer tijd om u bij uw moeilijkheden te helpen. Als u na de les naar huis gaat, zal het als regel zo zijn, dat u het idee hebt echt iets geleerd te hebben. Bij elke les bevinden zich een beknopte samenvatting en een of meer opgaven.
Thuis moet u die samenvatting nog eens grondig doornemen en daarna de opgaven maken.
Telkens na circa 10 lessen volgt een herhalingsles waarin het voorafgaande nog eens is samengevat. Daarop volgt een test waarin u kunt bewijzen dat u werkelijk iets hebt geleerd.

HALFGELEIDERS



Bij de bespreking van het blokschema zijn we de term *halfgeleiders* tegengekomen. Wat is een halfgeleider? Metalen, zoals zilver, koper, ijzer geleiden de elektrische stroom goed. Isolators, zoals glas, porcelein, papier geleiden nagenoeg niet. De mate waarin een stof geleidt komt tot uitdrukking in zijn soortelijke weerstand.

Goede geleiders hebben een soortelijke weerstand ρ die kleiner is dan ongeveer 10 $\Omega mm^2/m$. Voor isolators is ρ groter dan ongeveer 10^{10} $\Omega mm^2/m$. Stoffen met een soortelijke weerstand ρ die ligt tussen ongeveer 10 en 10^{10} $\Omega mm^2/m$ noemt men halfgeleiders.

Componenten vervaardigd uit halfgeleidende stoffen noemt men kortweg ook halfgeleiders.

PASSIEVE EN ACTIEVE COMPONENTEN

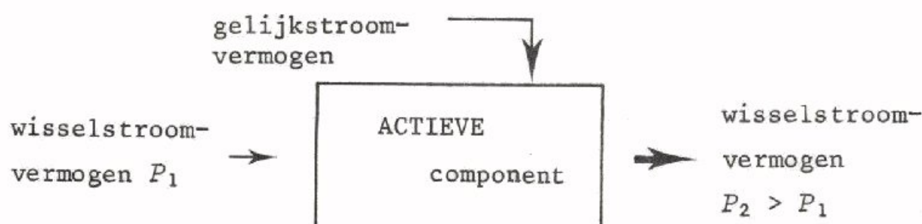
In dit B-deel komen, zoals we gezien hebben, de diverse componenten aan de orde.

Componenten zijn te onderscheiden in twee belangrijke categorieën: de *actieve* en de *passieve*.

Actieve componenten kunnen *wisselstroom vermogen versterken*. Er wordt primair een klein vermogen "ingestopt" en er blijkt secundair een groter vermogen "uit te komen".

Voorbeelden van actieve componenten zijn transistors en (buis)triode.

Bij passieve componenten, zoals weerstanden, condensators en spoelen treedt nooit versterking van vermogen op. Ook een transformator is een passieve component. Het is weliswaar mogelijk via een transformator een grotere spanning of een grotere stroom te krijgen, maar het vermogen is secundair nooit groter dan primair.

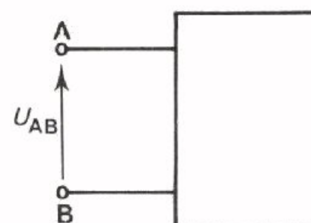


AFSPRAKEN OVER AANDUIDINGEN VAN STROMEN EN SPANNINGEN

In het A-deel van de cursus "Bedrijfselektronica" zijn afspraken gemaakt over de aanduiding van stromen en spanningen. Voor degenen die dit A-stuk niet gevolgd hebben is het nodig deze afspraken nog eens op een rijtje te zetten. Voor hen die het A-stuk wel meegemaakt hebben is het een nuttige herhaling.

- In formules en schema's geven we *gelijkspanning* aan met de hoofdletter U. Ook topwaarde, gemiddelde waarde en effectieve waarde van pulserende gelijkspanningen en wisselspanningen krijgen de hoofdletter U.
  Alleen momentele waarden van *wisselspanningen* geven we aan met de kleine letter u.

  In schema's wordt de spanning A ten opzichte van B als volgt aangegeven:
  De pijlpunt wijst dus naar A.
  Voor de E.M.K. van een gelijkspanningsbron wordt soms E gebruikt.



- In formules en schema's geven we *gelijkstroom* aan met de hoofdletter I. Ook topwaarde, gemiddelde waarde en effectieve waarde van pulserende gelijkstromen en wisselstromen krijgen de hoofdletter I.
  Alleen momentele waarden van *wisselstromen* duiden we aan met een kleine letter i.

  In schema's loopt de *elektrische* stroom in geleiders, (in tegenstelling tot de *elektronen*stroom) van + naar −.

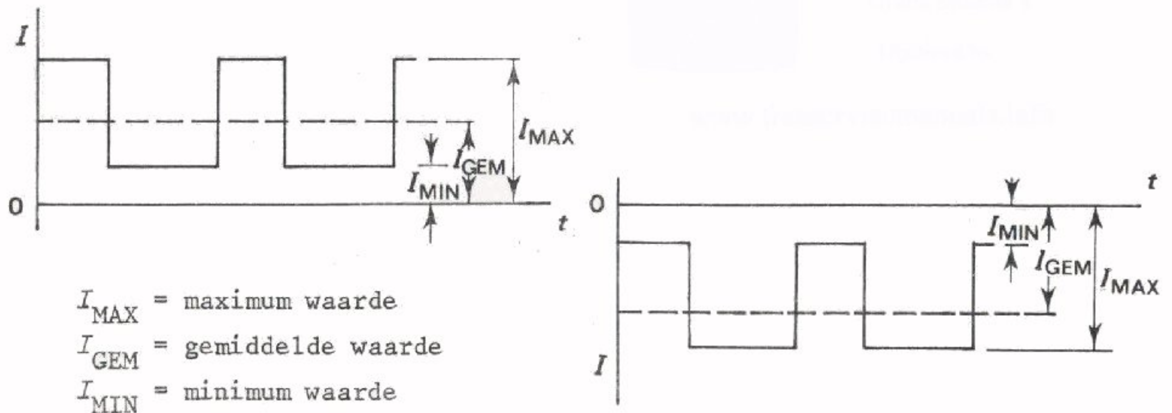
  De elektrische stroom geven we aan door middel van een pijlpunt in de geleider:



SOORTEN STROMEN

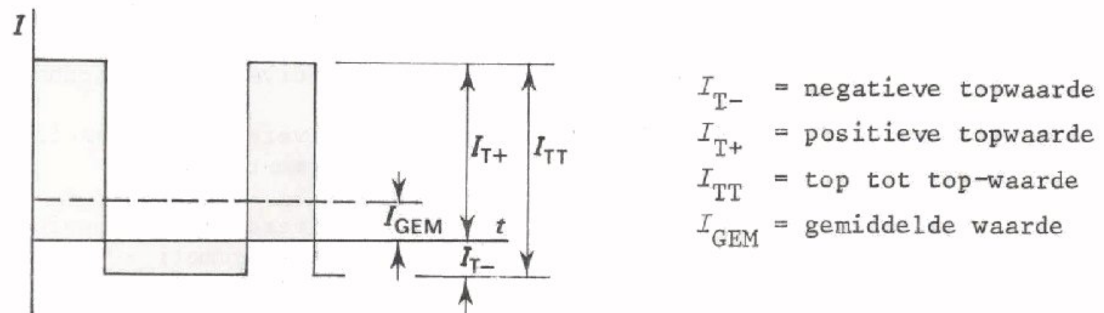
In volgende figuren zijn een aantal begrippen en hun aanduidingen samengevat. Soortgelijke afspraken gelden voor spanningen. Bestudeer deze plaatjes grondig.

- PULSERENDE GELIJKSTROOM



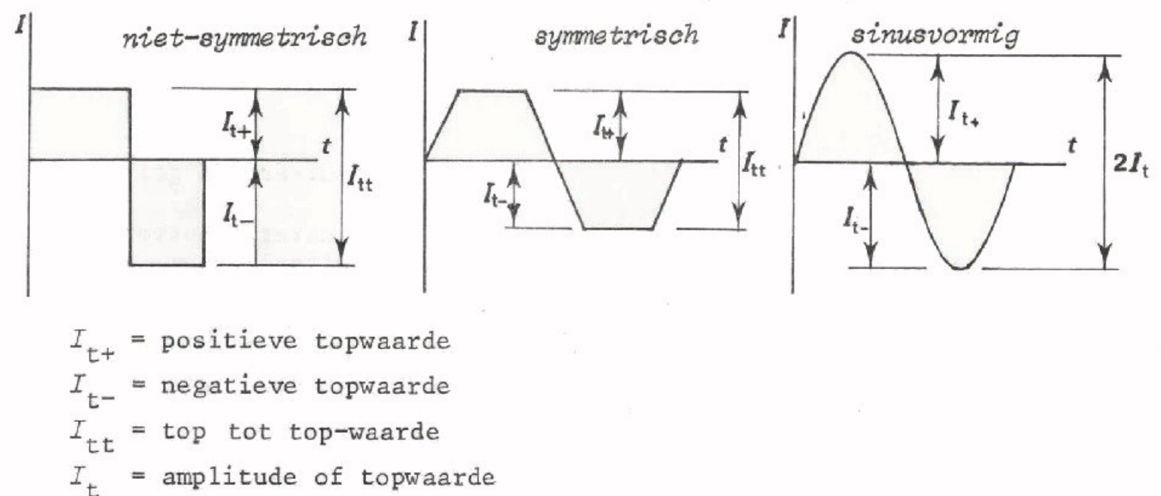
I_{MAX} = maximum waarde
I_{GEM} = gemiddelde waarde
I_{MIN} = minimum waarde

- ONZUIVERE WISSELSTROOM



I_{T-} = negatieve topwaarde
I_{T+} = positieve topwaarde
I_{TT} = top tot top-waarde
I_{GEM} = gemiddelde waarde

- ZUIVERE WISSELSTROOM



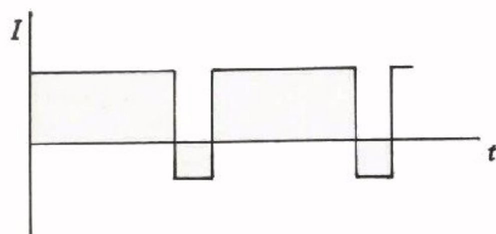
I_{t+} = positieve topwaarde
I_{t-} = negatieve topwaarde
I_{tt} = top tot top-waarde
I_t = amplitude of topwaarde

Langs de assen van grafieken worden hoofdletters *U* of *I* gebruikt behalve als het verloop van de wisselspanning of stroom ten opzichte van de frequentie beschouwd wordt.

TEST UZELF

Slechts één van de antwoorden is telkens goed!

1.



Dit is een:

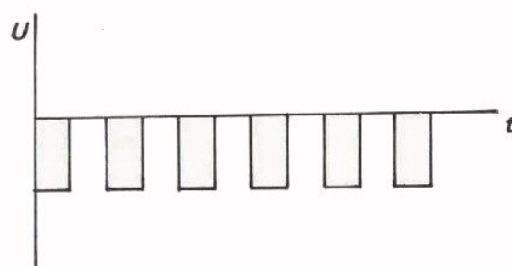
pulserende gelijkstroom O

onzuivere wisselstroom O

niet-symmetrische zuivere wisselstroom O

symmetrische zuivere wisselstroom O

2.



Dit is een:

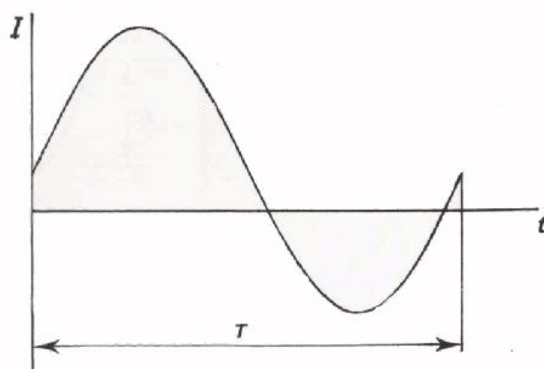
pulserende gelijkspanning O

onzuivere wisselspanning O

zuivere wisselspanning (symmetrisch) O

zuivere wisselspanning (niet-symmetrisch) O

3.



Dit is één periode van een:

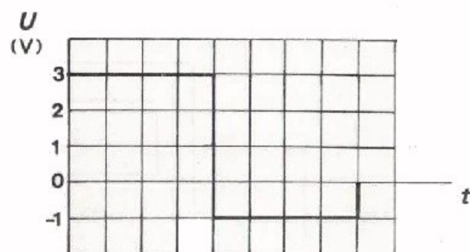
pulserende gelijkstroom O

zuiver sinusvormige wisselstroom O

onzuivere wisselstroom O

zuivere, niet-symmetrische, sinusvormige wisselstroom O

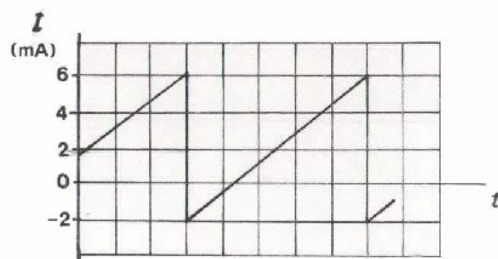
4.



De gemiddelde waarde van deze spanning bedraagt:

V

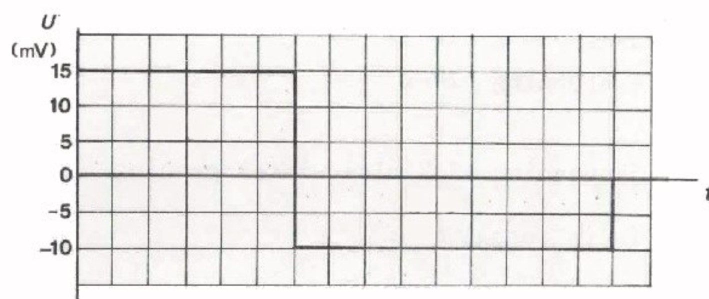
5.



Van deze stroom is:

I_{t^+} =	mA
I_{t-} =	mA
I_{tt} =	mA
I_{gem} =	mA

6.



In deze grafiek ziet u één periode van een niet-symmetrische zuivere wisselspanning.

- Waarom spreken we van een *zuivere* wisselspanning?

____

____

____

____

____

- Hoe groot is de top tot top-waarde? [ ]

- Mogen we ook spreken van *de amplitude*? Waarom? of Waarom niet?

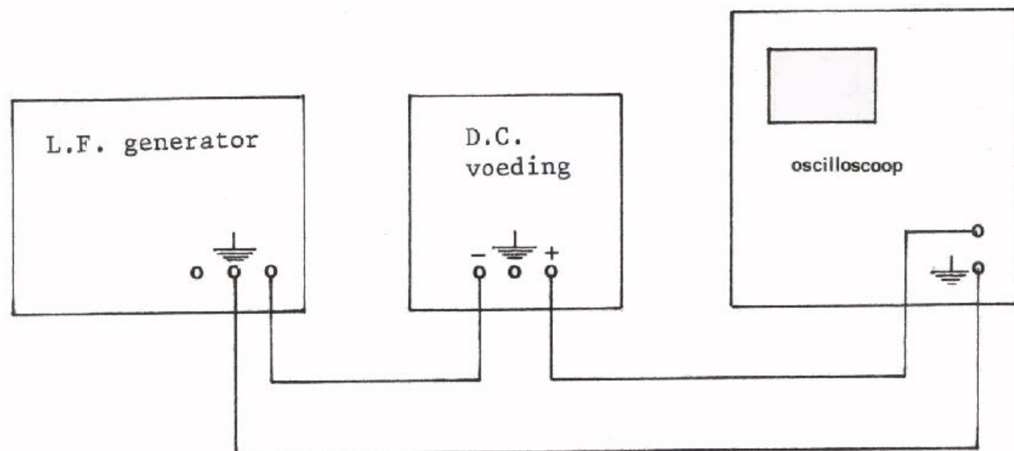
____

____

____

____

OPDRACHT: HET ZICHTBAAR MAKEN VAN DE VERSCHILLENDE SPANNINGSSOORTEN



- Bouw deze schakeling.

- Voer achtereenvolgens een van de volgende spanningen toe en maak deze zichtbaar op het scherm van de oscilloscoop.
  Maak in geval van een wisselspanning twee perioden zichtbaar.

  - Gelijkspanning +10 V
  - Gelijkspanning -20 V

  - Gelijkspanning +2 V plus wisselspanning U_t= 1 V, f = 200 Hz.

    Dit is in totaal een:

    [ ] - spanning

  - Gelijkspanning -5 V plus wisselspanning U_t= 10 V, f = 2 kHz.

    Dit is in totaal een:

    [ ] - spanning

- Ga nu als volgt te werk.
  Een van de twee cursisten van elke meetgroep biedt de som van een gelijk- en een wisselspanning aan, waarvan de grootte en de frequentie aan de andere cursist onbekend zijn. Deze laatste moet dit voor hem onbekende signaal zichtbaar maken op de oscilloscoop en de grootte van gelijk- en wisselspanningscomponent bepalen. Bovendien moet hij de frequentie van de wisselspanningscomponent bepalen.

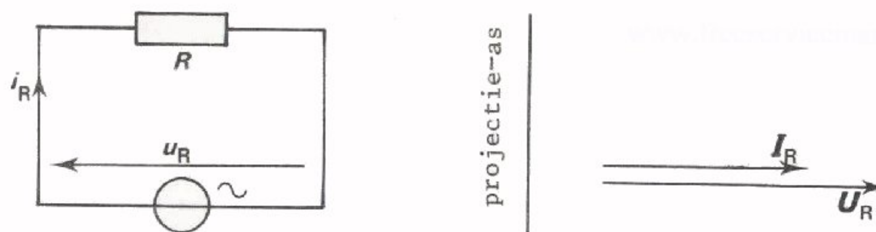
- Tenslotte worden de rollen van de beide cursisten omgedraaid.

VECTORDIAGRAMMEN

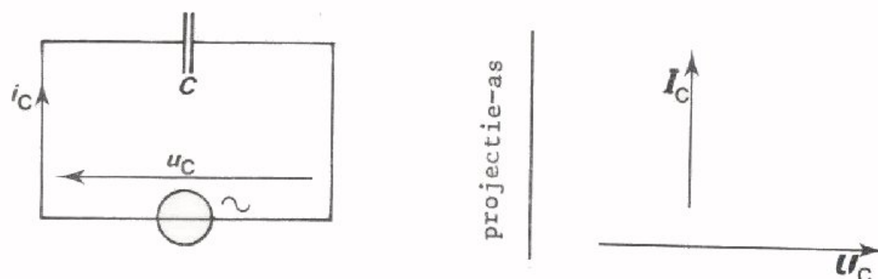
In de wisselstroomtechniek heeft men veel gemak van *vectordiagrammen*. In het A-gedeelte van de cursus "Bedrijfselektronica" hebben we herhaaldelijk vectordiagrammen getekend en daaruit conclusies getrokken. We herhalen hier zeer in het kort nogmaals de voornaamste regels die daarbij gelden.

- Vectordiagrammen tekent men *alleen* voor *sinusvormige* wisselspanningen en -stromen. Zij zijn een voorstellingswijze van sinusvormige grootheden.

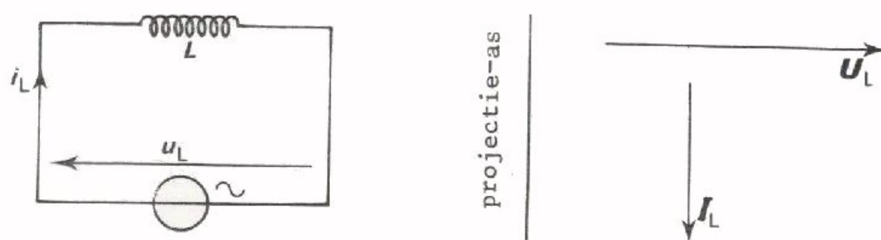
- **Bij een weerstand is de stroom in fase met de spanning. Het vector-**diagram ziet er als volgt uit:



- Bij een *condensator ijlt* de *stroom* 90° *voor* op de spanning. Het vectordiagram ziet er zo uit:



- Bij een *spoel ijlt* de *stroom* 90° *na* op de spanning. Het vectordiagram is:

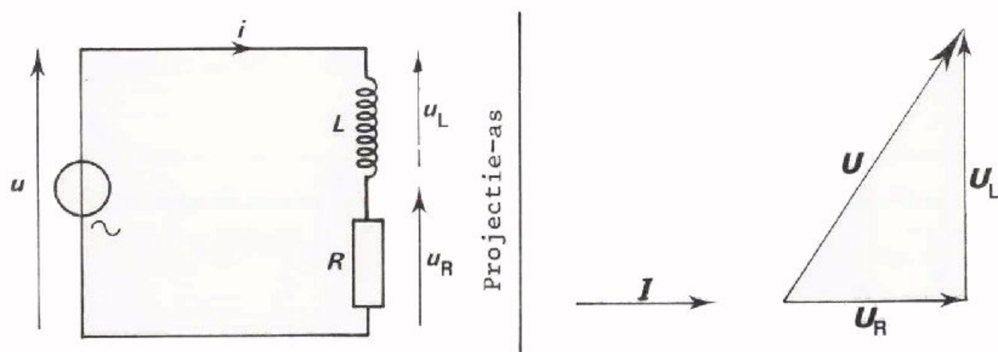


- Bij een *serie*schakeling begint men met de *stroom*vector te tekenen. De stroom immers is bij serieschakeling voor alle componenten dezelfde.

- Bij een *parallel*schakeling begint men met de *spannings*vector te tekenen. De spanning is bij parallelschakeling immers voor alle componenten dezelfde.

VOORBEELDEN

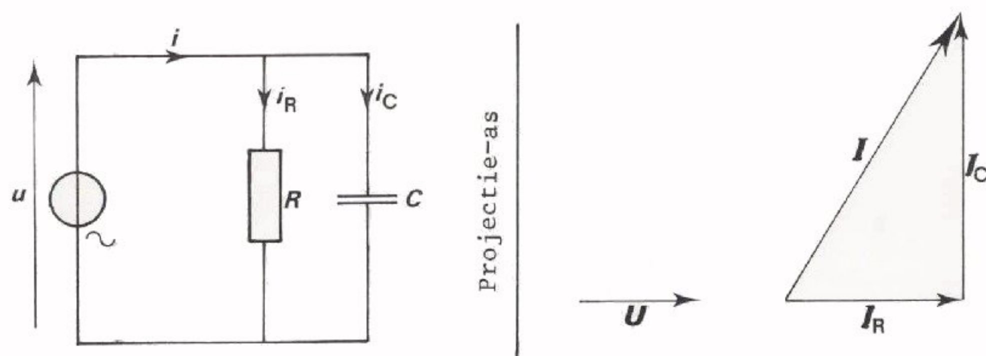
Voorbeeld van een vectordiagram bij een serieschakeling.



- Eerst is de stroomvector $\boldsymbol{I}$ uitgezet.
- $\boldsymbol{U}_R$ is in fase met $\boldsymbol{I}$.
- $\boldsymbol{U}_L$ is "achter $\boldsymbol{U}_R$ aan" uitgezet en wel zo, dat hij 90^0 voorijlt op $\boldsymbol{I}$.
- Tenslotte is $\boldsymbol{U}$ gevonden door "het begin van de eerste vector te verbinden met het eind van de tweede".

Merk op, dat de volgorde van de spanningsvectors dezelfde is als die van de spanningspijlen in het schema.

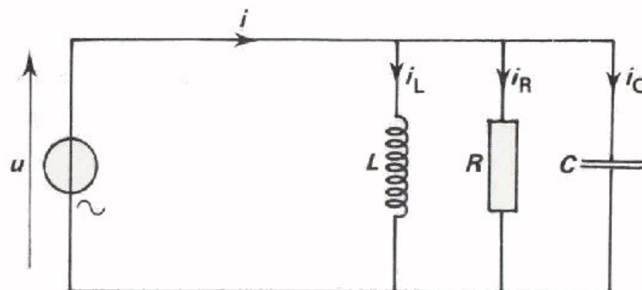
Voorbeeld van een vectordiagram bij een parallelschakeling.

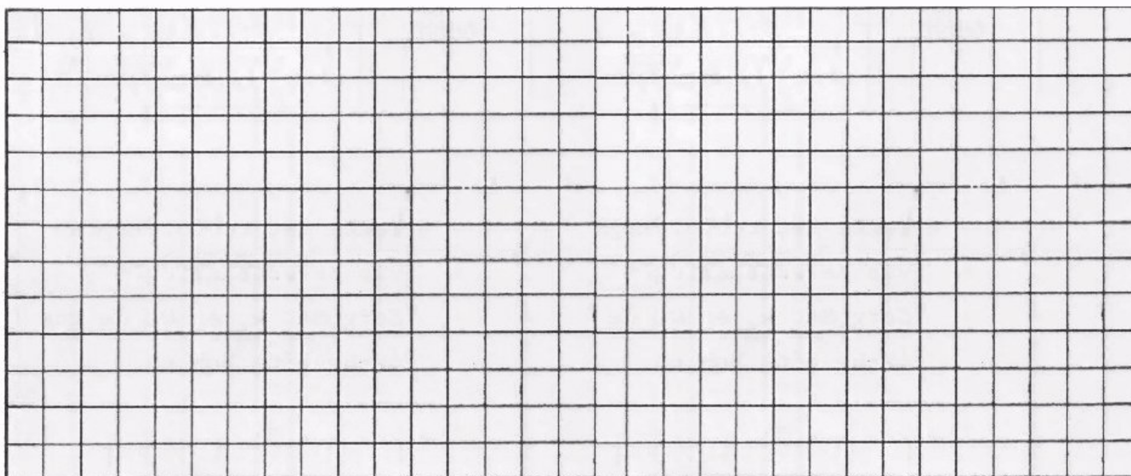


- Eerst is de spanningsvector $\boldsymbol{U}$ uitgezet.
- $\boldsymbol{I}_R$ is in fase met $\boldsymbol{U}$.
- $\boldsymbol{I}_C$ is "achter $\boldsymbol{I}_R$ aan" uitgezet en wel zo, dat hij 90^0 voorijlt op $\boldsymbol{U}$.
- Tenslotte is $\boldsymbol{I}$ gevonden door "het begin van de eerste vector te verbinden met het eind van de tweede".

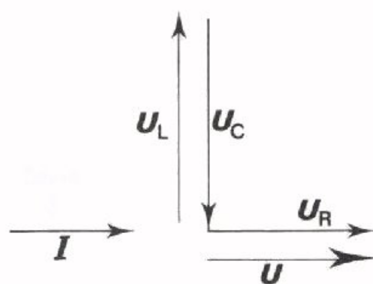
TEST UZELF

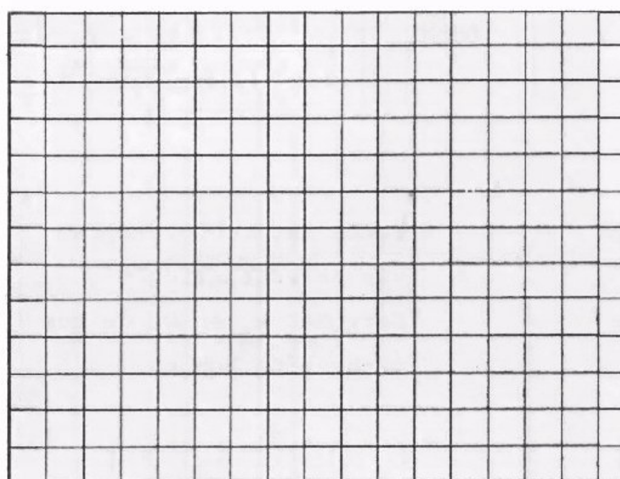
1. Schets hieronder het vectordiagram van deze parallelschakeling





2.





Teken hiernaast de schakeling die bij dit vectordiagram hoort.
Wat is er voor bijzonders aan de hand?

TESTVRAGEN

In de cursus komen op talloze plaatsen testvragen voor. Niet altijd, maar in veel gevallen zijn deze in de volgende vorm gegoten:

VOORBEELD

De effectieve waarde van een sinusvormige wisselstroom is gelijk aan:

$\sqrt{2}$ x de topwaarde	O
0,707 x de gemiddelde waarde	O
ongeveer 0,63 de topwaarde	O
$\frac{1}{2}\sqrt{2}$ x de topwaarde	O

Dit is dus een vraag met vier antwoorden.
Eén van deze antwoorden is juist en de O achter dit antwoord moet u zwart maken. De andere drie zijn beslist onjuist.

- Bij het oplossen van dit soort testvragen is het verstandig eerst alle antwoorden te bekijken.

  In dit geval ziet u dat in bovenstaande vraag een verband wordt gelegd tussen de effectieve waarde en de topwaarde, (antwoord 1, 3 en 4) en de effectieve waarde en de gemiddelde waarde, (antwoord 2).

- Nu zoekt u in uw geheugen op wat u weet over topwaarde, effectieve- en gemiddelde waarde bij een sinusvormige wisselstroom.
  Dit is b.v.:

  $I_{eff} \approx 0,7\ I_t$

  en $I_{gem} \approx 0,6\ I_t$.

- Nu kunt u snel inzien dat de eerste drie antwoorden onmogelijk juist kunnen zijn.
  Het laatste antwoord is dus goed. Dit blijkt ook te kloppen want:

  $\frac{1}{2}\sqrt{2} \approx 0,7$.

Het kan ook wel voorkomen dat u helemaal geen antwoord weet. In zo'n geval moet u gokken; u hebt een kans van 1 op 4 om het goede antwoord te geven. In vele gevallen is die kans in feite aanzienlijk groter. Aan de hand van volgend voorbeeld laten we dit zien.

VOORBEELD

De effectieve waarde van deze onzuivere wisselstroom is ongeveer:

6 mA O

9 mA O

10 mA O

11 mA O

Laten we nu eens aannemen dat u weinig meer weet van effectieve waarde. U weet alleen nog vagelijk, dat de effectieve waarde ergens ligt tussen een gemiddelde waarde en de topwaarde.
U bepaalt dan de gemiddelde waarde van deze stroom; I_{GEM} = 9 mA.

Op dit moment kunt u zeggen dat de antwoorden: 6 mA en 9 mA onjuist zijn. U gokt tussen de antwoorden 10 en 11 mA, zodat uw kans vergroot is tot 1 op 2.

Vraag: Wat is de juiste manier om de effectieve waarde te schatten en wat is in dit voorbeeld het juiste antwoord?

B 002

R E K E N E N

INLEIDING

Laten we beginnen met u gerust te stellen; we zijn beslist niet van plan rekenaars van u te maken. We zijn er van overtuigd, dat in sommige cursussen het rekenen sterk wordt overdreven. Van de andere kant is het niet mogelijk tot goed begrip van de elektronica te komen zonder daarbij kleine berekeningen te maken. Tijdens de behandeling van het A-stuk van de cursus hebt u gemerkt, dat u b.v. vlot µA moet kunnen omrekenen naar mA. U hebt ervaren dat rekenen met machten van 10 vaak buitengewoon handig is. Verder dat eenvoudige berekeningen met breuken soms niet te vermijden zijn, enz.

Aan het begin van het B-stuk herhalen we enige rekenkunde die u moeilijk kunt missen. Beschouw dit beetje rekenkunde als een onontbeerlijk stuk gereedschap voor het werken in de elektronica.

Vooraf nog één opmerking:

"Rotzooi niet maar wat aan!"
Als u rekent, doe het dan ordelijk.
Zorg voor royaal kladpapier en goed schrijfmateriaal.
Schrijf zó duidelijk, dat u het zelf tenminste kunt lezen.
Voer berekeningen stap voor stap uit en zet elke stap wél-overwogen.

Dit klinkt misschien als een stel flauwe schoolmeesterachtige raadgevingen. Volg ze echter op, ze blijken geweldig te helpen.

REKENEN MET BREUKEN

U moet de vervangingsweerstand uitrekenen van drie weerstanden van respectievelijk 100 Ω, 200 Ω en 300 Ω, die parallel geschakeld zijn. U gaat dan als volgt te werk:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{100} + \frac{1}{200} + \frac{1}{300}$$

Tot zover is het elektrotechniek en invullen in een formule. Nu moet u met breuken gaan rekenen en voor sommige mensen wordt het op dit moment moeilijk. Zij kennen de regeltjes voor het rekenen met breuken namelijk niet meer.
We zetten die regels daarom nog eens kort en krachtig bij elkaar.

- Een breuk heeft een *teller* en een *noemer*

$$BREUK = \frac{TELLER}{NOEMER}$$

- OPTELLEN van breuken.

Voorbeelden:

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{3} = \frac{3}{6} + \frac{2}{6} = \frac{5}{6}$$

$$\frac{2}{3} + \frac{1}{6} = \frac{4}{6} + \frac{1}{6} = \frac{5}{6}$$

We kunnen breuken alleen maar optellen als we ze eerst *gelijknamig* (= gelijk van noemer) hebben gemaakt.
Dit doen we door de teller en de noemer van elke breuk met hetzelfde, geschikt gekozen getal te vermenigvuldigen. De gelijknamige breuken tellen we op door de tellers op te tellen.

- AFTREKKEN van breuken.

Dit geschiedt op soortgelijke manier.

Voorbeeld:

$$\frac{5}{6} - \frac{7}{8} = \frac{20}{24} - \frac{21}{24} = - \frac{1}{24}$$

- VERMENIGVULDIGEN van breuken.

Voorbeelden:

$$\frac{1}{2} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{6}$$

$$\frac{5}{7} \times \frac{3}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{5.3.1}{7.4.2} = \frac{15}{56}\ .$$

We vermenigvuldigen breuken door de tellers te vermenigvuldigen en de noemers te vermenigvuldigen.

- DELEN van breuken.

Voorbeelden:

$$\frac{\frac{1}{2}}{\frac{1}{3}} = \frac{1}{2} \times \frac{3}{1} = \frac{3}{2}$$

$$\frac{\frac{5}{8}}{\frac{4}{5}} = \frac{5}{8} \times \frac{5}{4} = \frac{25}{32}.$$

"Delen door een breuk" komt op hetzelfde neer als "vermenigvuldigen met het omgekeerde van die breuk".

- VEREENVOUDIGEN van breuken.

Voorbeeld:

$$\frac{6}{15} = \frac{2}{5}.$$

Soms kan men een breuk vereenvoudigen door teller en noemer door hetzelfde getal te delen.

NOG EEN OPMERKING

Als twee breuken gelijk zijn, dan zijn ook hun omgekeerden gelijk.

Voorbeeld:

Als $\frac{15}{6} = \frac{5}{2}$, dan ook $\frac{6}{15} = \frac{2}{5}$.

Met dit handjevol simpele regels kunnen we ons aardig behelpen. Bekijken we het probleempje van de parallel geschakelde weerstanden nog eens:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{100} + \frac{1}{200} + \frac{1}{300}.$$

We moeten optellen, dus eerst gelijknamig maken:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{6}{600} + \frac{3}{600} + \frac{2}{600}.$$

Nu tellers optellen:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{6 + 3 + 2}{600} = \frac{11}{600}.$$

Als: $\frac{1}{R_p} = \frac{11}{600}$, dan $\frac{R_p}{1} = \frac{600}{11}$ of $R_p \approx 54{,}5\ \Omega$.

Het laatste was een toepassing van de opmerking bovenaan dit blad.

EEN VOORBEELD

$$I_1 = \frac{U}{R_1} \quad \text{en} \quad I_2 = \frac{U}{R_2}.$$

Gevraagd te bepalen de verhouding $I_1 : I_2$.

$$I_1 : I_2 = \frac{I_1}{I_2} = \frac{\frac{U}{R_1}}{\frac{U}{R_2}} = \frac{U}{R_1} \times \frac{R_2}{U} = \frac{\cancel{U}R_2}{R_1\cancel{U}} = \frac{R_2}{R_1}.$$

OEFENINGEN

1. Bereken: $\frac{1}{6} + \frac{1}{9} - \frac{1}{12} =$

2. Bereken R, als

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{120} + \frac{1}{600}$$

$R =$ Ω

3. Twee weerstanden staan parallel.
De ene is 100 Ω.
De vervangingsweerstand van beide weerstanden is 80 Ω.
Hoe groot is de andere weerstand?

Ω

4. Een condensator van 20 nF staat in serie met een van 100 nF.
Hoe groot is de vervangingscapaciteit C_s?

$C_s =$ nF

5. Een spoel van 10 mH staat parallel aan een spoel van 20 mH.
Bereken de vervangingszelfinductie L_p.

$L_p =$ mH

REKENEN MET MACHTEN VAN 10

Degenen die het A-deel van de cursus "Bedrijfselektronica" geheel hebben bestudeerd, hebben gemerkt dat het vaak gemakkelijk is om te rekenen met machten van 10. Heel in het kort herhalen we de voornaamste regels nog eens.

- 10^6 is een *macht* van het *grondtal* 10.
  6 is de *exponent*.

- 10^{-6} is ook een macht van 10; het is een macht met een negatieve exponent.

  10^{-6} betekent $\frac{1}{10^6}$.

- $10^1 = 10$
  $10^0 = 1$

- Een decimaal getal kan men als volgt met een macht van 10 schrijven:

  $74\ 000 = 7{,}4.10^4$

  4 plaatsen naar links — exponent is: +4

  $0{,}000\ 023 = 2{,}3.10^{-5}$

  5 plaatsen naar rechts — exponent is: -5.

- Bij *vermenigvuldigen* van machten van 10 *tellen* we *exponenten op*

  $10^2.10^5.10^3 = 10^{2+5+3} = 10^{10}$.

- Bij *delen* van machten van 10 *trekken* we de *exponent* van de *noemer af* van die van de *teller*.

  $\frac{10^8}{10^2} = 10^{8-2} = 10^6 \qquad \frac{10^3}{10^5} = 10^{3-5} = 10^{-2}$.

- Zet bij rekenen met breuken de machten met negatieve exponenten altijd eerst om in machten met positieve exponenten door ze naar de andere kant van de breukstreep te brengen.

  $\frac{1}{10^{-6}} = \frac{10^6}{1} = 10^6 \qquad \frac{10^{-6}}{10^{-4}} = \frac{10^4}{10^6} = \frac{1}{10^2} = 10^{-2}$.

VOORBEELDEN VAN REKENEN MET MACHTEN VAN 10

Reken volgende voorbeelden zorgvuldig na.

1. $\frac{3\ 800\ 000 \times 12\ 000}{0{,}057} =$

$$\frac{38.10^5 \times 12.10^3}{57.10^{-3}} = \frac{38.12}{57} \times 10^5 \ .\ 10^3 .\ 10^3 =$$

$$\frac{2.12}{3} 10^{11} = 8.10^{11}$$

2. $\frac{5.10^{-5}.15.10^{-3}}{3.10^{-6}} =$

$$\frac{5.15}{3} \times \frac{1}{10^5} \ .\ \frac{1}{10^3} \ .\ \frac{10^6}{1} = 25 \ .\ \frac{1}{10^2} =$$

$$= 25.10^{-2} = 0{,}25$$

3. $\frac{5.10^0.5.10^{-1}.5.10^{-2}}{625.10^3} =$

$$\frac{5.5.5}{625} \ .\ 1 \ .\ \frac{1}{10^1} \ .\ \frac{1}{10^2} \ .\ \frac{1}{10^3} =$$

$$\frac{1}{5} \ .\ \frac{1}{10^6} = 0{,}2.10^{-6} = 2.10^{-7}$$

TEST UZELF

Voer volgende berekeningen uit.
Maak daarbij gebruik van machten van 10. Geef de uitkomst op als het produkt van een getal tussen 1 en 10 en een macht van 10.

1. $\frac{35.10^{-4}}{7.10^{3}}$ = ☐

2. $\frac{0{,}092 \times 1210}{22.10^{-2}}$ = ☐

3. $\frac{1}{200\ 000}$ = ☐

4. $\frac{64.10^{-6}.32.10^{5}}{1{,}6.10^{8}.16.10^{-4}}$ = ☐

5. $0{,}06 + 36.10^{-5}$ = ☐

Mocht blijken dat u hier niets van terecht brengt, neem dan de gehele les A9 nog eens door.

WORTELTREKKEN

"Verheffen tot de tweede macht" noemden we *kwadrateren*. Het omgekeerde van kwadrateren is *worteltrekken*.

$7^2 = 49$

7 is de *wortel* uit 49.

We schrijven:

$7 = \sqrt{49}$

Een aantal kwadraten kennen we van buiten, zodat we van een aantal getallen uit het hoofd de wortel kunnen schrijven.

Voorbeelden:

$\sqrt{1} = 1$	$\sqrt{100} = 10$	$\sqrt{400} = 20$
$\sqrt{4} = 2$	$\sqrt{121} = 11$	$\sqrt{625} = 25$
$\sqrt{9} = 3$	$\sqrt{144} = 12$	$\sqrt{900} = 30$
⋮	$\sqrt{169} = 13$	$\sqrt{1600} = 40$
	$\sqrt{196} = 14$	⋮
	$\sqrt{225} = 15$	$\sqrt{10\ 000} = 100$

De wortels uit de meeste getallen weten we niet uit het hoofd. Om deze wortels te weten te komen maken we gebruik van een tabel. Op volgend blad vindt u zo'n tabel. In de eerste kolom staan de getallen n = 1, 2, 3 --- 100. In de tweede kolom de kwadraten n^2 van die getallen en in de derde de benadering van de wortels $\sqrt{n}$ uit die getallen.

n	n^2	$\sqrt{n}$
1	1	1,00
2	4	1,41
3	9	1,73
4	16	2,00
5	25	2,24
6	36	2,45
7	49	2,65
8	64	2,83
9	81	3,00
10	100	3,16
11	121	3,32
12	144	3,46
13	169	3,61
14	196	3,74
15	225	3,87
16	256	4,00
17	289	4,12
18	324	4,24
19	361	4,36
20	400	4,47
21	441	4,58
22	484	4,69
23	529	4,80
24	576	4,90
25	625	5,00
26	676	5,10
27	729	5,20
28	784	5,29
29	841	5,39
30	900	5,48
31	961	5,57
32	1024	5,66
33	1089	5,74
34	1156	5,83
35	1225	5,92
36	1296	6,00
37	1369	6,08
38	1444	6,16
39	1521	6,25
40	1600	6,32
41	1681	6,40
42	1764	6,48
43	1849	6,56
44	1936	6,63
45	2025	6,71
46	2116	6,78
47	2209	6,86
48	2304	6,93
49	2401	7,00
50	2500	7,07

n	n^2	$\sqrt{n}$
51	2601	7,14
52	2704	7,21
53	2809	7,28
54	2916	7,35
55	3025	7,42
56	3136	7,48
57	3249	7,55
58	3364	7,62
59	3481	7,68
60	3600	7,75
61	3721	7,81
62	3844	7,87
63	3969	7,94
64	4096	8,00
65	4225	8,06
66	4356	8,12
67	4489	8,19
68	4624	8,25
69	4761	8,31
70	4900	8,37
71	5041	8,43
72	5184	8,49
73	5329	8,54
74	5476	8,60
75	5625	8,66
76	5776	8,72
77	5929	8,78
78	6084	8,83
79	6241	8,89
80	6400	8,94
81	6561	9,00
82	6724	9,06
83	6889	9,11
84	7056	9,17
85	7225	9,22
86	7396	9,27
87	7569	9,33
88	7744	9,38
89	7921	9,43
90	8100	9,49
91	8281	9,54
92	8464	9,59
93	8649	9,64
94	8836	9,70
95	9025	9,75
96	9216	9,80
97	9409	9,85
98	9604	9,90
99	9801	9,95
100	10 000	10,00

In de tabel vindt u alleen de wortels uit de gehele getallen 1 tot en met 100. Wat nu te doen als u de wortel moet trekken uit een getal dat niet in de tabel staat?
Dit wordt duidelijk uit volgende voorbeelden; bestudeer deze grondig!

- Eerst voorbeelden van worteltrekken uit getallen die tussen de getallen van de tabel in liggen.

$\sqrt{2,2} = ?$

In de tabel vinden we $\sqrt{2} = 1,41$

en $\sqrt{3} = 1,73$

$\sqrt{2,2}$ ligt hier tussenin en dicht bij $\sqrt{2}$

$\sqrt{2,2}$ is dus ongeveer: 1,5

Controle: $(1,5)^2 = 2,25$.

$\sqrt{14,6} = ?$

Uit de tabel blijkt $\sqrt{14} = 3,74$

en $\sqrt{15} = 3,87$

$\sqrt{14,6}$ ligt hier ongeveer midden tussenin, zodat

$\sqrt{14,6}$ ongeveer gelijk is aan: 3,8

Controle: $(3,8)^2 = 14,44$.

- Voorbeelden van wortels uit getallen boven de 100.

$\sqrt{200} = ?$

Voor $\sqrt{200}$ kunnen we schrijven $\sqrt{2.100} = \sqrt{2}.\sqrt{100}$

$\sqrt{200} = \sqrt{2}.\sqrt{100}$

$\sqrt{100}$ = 10, uit het hoofd

$\sqrt{2}$ = 1,41, zie tabel

$\sqrt{200} \approx 1,41 . 10 \approx 14,1$

Controle: $(14,1)^2 = 199$.

$\sqrt{56\ 000} = \sqrt{5,6}.\sqrt{10\ 000}$

$\sqrt{10\ 000}$ = 100, uit het hoofd

$\sqrt{5,6}$ = 2,4, zie tabel

$\sqrt{56\ 000} \approx 2,4 . 100 \approx 240$

Controle: $(240)^2 = 57\ 600$.

Pas op!

Vaak komt men in de verleiding om b.v. $\sqrt{56\ 000}$ te schrijven als:

$\sqrt{56}\ \sqrt{1000}$

Dit is onhandig, want $\sqrt{1000}$ kent men niet uit het hoofd en bovendien $\sqrt{1000} \approx 31{,}6$ en dit laat zich niet gemakkelijk met $\sqrt{56}$ vermenigvuldigen. Zorg altijd voor *een macht van 10* met een *even* aantal nullen *onder het wortelteken!*

Dus: $\sqrt{100} = \sqrt{10^2}$, $\sqrt{10\ 000} = \sqrt{10^4}$, $\sqrt{1\ 000\ 000} = \sqrt{10^6}$, enz.

De komma wordt telkens een even aantal plaatsen verzet.

$$\sqrt{3850} = \sqrt{3850{,}0} = \sqrt{38{,}50 \times 100}, \text{ enz.}$$

$$\sqrt{970\ 000} = \sqrt{970\ 000{,}0} = \sqrt{97\ .\ 10\ 000}, \text{ enz.}$$

- Tenslotte voorbeelden van wortels uit getallen tussen 0 en 1.

$$\sqrt{0{,}05} = \sqrt{\frac{5}{100}}$$

Hiervoor mogen we schrijven: $\dfrac{\sqrt{5}}{\sqrt{100}} \approx \dfrac{2{,}24}{10} = 0{,}224$

$$\sqrt{0{,}0061} = \sqrt{\frac{61}{10\ 000}} = \frac{\sqrt{61}}{\sqrt{10\ 000}} \approx \frac{7{,}81}{100} = 0{,}078\ 1.$$

Ook hier is er weer voor gezorgd, dat telkens een *macht van 10* met een *even* aantal nullen *onder het wortelteken* verschijnt. Ook nu wordt de komma telkens een *even* aantal plaatsen verzet. Dit laatste is van groot belang in volgende voorbeelden:

$$\sqrt{0{,}7} = \sqrt{0{,}70} = \sqrt{\frac{70}{100}} = \frac{\sqrt{70}}{\sqrt{100}} = \frac{8{,}37}{10} = 0{,}837$$

$$\sqrt{0{,}000\ 08} = \sqrt{0{,}000\ 080} = \sqrt{\frac{80}{1\ 000\ 000}} = \frac{8{,}94}{1000} = 0{,}008\ 94.$$

OEFENINGEN

Voer de berekeningen uit op een afzonderlijk vel papier. Maak gebruik van de tabel op blad B002.11. Vul de gevonden uitkomsten in onderstaande hokjes in.

1. $\sqrt{0{,}055} \approx$ ☐

   $\sqrt{0{,}55} \approx$ ☐

   $\sqrt{5{,}5} \approx$ ☐

   $\sqrt{55} \approx$ ☐

2. $\sqrt{480} \approx$ ☐

3. $\sqrt{0{,}000\ 79} \approx$ ☐

4. $\sqrt{8814} \approx$ ☐

5. $\sqrt{0{,}343} \approx$ ☐

6. $\sqrt{16\ 200} \approx$ ☐

7. $\sqrt{661{,}9} \approx$ ☐

8. $\sqrt{3{,}508} \approx$ ☐

HET OMZETTEN VAN FORMULES

Het komt nogal eens voor dat men een formule in een andere vorm moet schrijven.

Voorbeeld:

$$U = RI$$

Men wil nu R "voorop schrijven".
We gaan als volgt te werk:

$$\frac{U}{I} = \frac{RI}{I}\ .$$

We hebben links en rechts door I gedeeld, omdat I dan rechts wegvalt:

$$\frac{U}{I} = \frac{R\cancel{I}}{\cancel{I}},\ \text{dus}\ R = \frac{U}{I}$$

Nog een voorbeeld:

$$R = \rho\frac{l}{A}\ .$$

Stel dat R, ρ en l gegeven zijn en dat we A moeten berekenen.
We schrijven dan:

$$RA = \rho\frac{l}{\cancel{A}}\cancel{A}$$

We hebben links en rechts met A vermenigvuldigd.
A valt rechts weg.

Verder:

$$\frac{\cancel{R}A}{\cancel{R}} = \frac{\rho l}{R}$$

We hebben links en rechts door R gedeeld.
R valt links weg, zodat:

$$A = \frac{\rho l}{R}.$$

Nog een voorbeeld aan de hand van de bekende formule voor de resonantie-frequentie.

$$\omega_o^2 LC = 1$$

Stel $\omega_o = 10^4$ rad/s.
$L = 50$ mH

Gevraagd: hoe groot is C?

We schrijven eerst:

$$\frac{\omega_o^2 LC}{\omega_o^2 L} = \frac{1}{\omega_o^2 L}$$

$$\text{of } C = \frac{1}{\omega_o^2 L}$$

Nu vullen we de gegeven waarden in:

$$C = \frac{1}{(10^4)^2 . 50 . 10^{-3}} = \frac{1}{10^8 . 50 . 10^{-3}}$$

$$= \frac{1}{50 . 10^5} F.$$

Nu maken we er μF van:

$$C = \frac{10^6}{50 . 10^5} \mu F$$

$$= \frac{10}{50} = \frac{1}{5} = 0{,}2 \ \mu F.$$

TEST UZELF

$$\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{X^2} + \frac{1}{R^2}}$$

Hoe groot is R, als $X = 3$ kΩ
en $Z = 1$ kΩ?

Maak de berekening stap voor stap op een afzonderlijk vel papier.

$R =$ [ ]

NAAM: [ ] KLAS: [ ]

Werk volgende opgaven op kladpapier uit en zet de gevonden uitkomsten in de daarvoor bestemde hokjes.

1. $\dfrac{1/3 + 1/4 + 1/5}{1/2 + 17/60} =$ [ ]

2. Drie weerstanden staan parallel. De waarden zijn 200 Ω, 500 Ω en 1,5 kΩ. Hoe groot is de vervangingsweerstand?

$R_p =$ [ ]

3. Bereken en schrijf de uitkomst als een getal tussen 1 en 10. Vermenigvuldig ze met de juiste macht van 10.

$\dfrac{48\ 10^{-4}\ 0{,}06\ 10^{+3}}{0{,}96\ 10^{-2}\ 120\ 000} =$ [ ]

$0{,}35\ \sqrt{4{,}9\ 10^{-5}} =$ [ ]

$\dfrac{5 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-2}}{5\ 10^{-4}} =$ [ ]

4. Trek volgende wortels:

$\sqrt{96} \approx$	[ ]	$\sqrt{46\ 10^{-5}} \approx$	[ ]
$\sqrt{9{,}6} \approx$	[ ]	$\sqrt{0{,}002\ 6} \approx$	[ ]
$\sqrt{0{,}96} \approx$	[ ]	$\sqrt{81\ 10^{-3}} \approx$	[ ]

5. Gegeven de formule:

$$U = RI$$

Schrijf I voorop: $I =$ [ ]

6. Gegeven de formule:

$$Z = \sqrt{X^2 + R^2}$$

Schrijf R voorop: $R =$ [ ]

7. Gegeven de formule:

$$\omega_o^2 LC = 1$$

$$\omega_o = 2\pi f_o$$

Leid uit deze formules een nieuwe formule af voor f_o, (waar ω_o niet meer in voorkomt).

$f_o =$ [ ]

Als L = 2,5 mH en C = 36 pF, dan geldt:

$f_o \approx$ [ ] MHz

WEERSTANDEN

INLEIDING

Weerstanden past men in de elektronica in zeer grote verscheidenheid toe. We vinden weerstanden b.v. in:

- spanningsdelers,
- de brug van Wheatstone,
- *RC*- en *RL*-filters.

We gebruiken weerstanden als stroombegrenzer, als meetweerstand, enz. In deze les behandelen we eerst enige eigenschappen van weerstanden. Vervolgens laten we de verschillende soorten weerstanden de revue passeren.

TEMPERATUURAFHANKELIJKHEID

De waarde van een weerstand is min of meer afhankelijk van de temperatuur. Deze afhankelijkheid wordt vastgelegd met de temperatuurcoëfficiënt van het materiaal waaruit de weerstand is vervaardigd. Is deze positief, dan wordt de weerstandswaarde bij hogere temperatuur groter; bij een negatieve temperatuurcoëfficiënt neemt de weerstandswaarde af als de temperatuur stijgt. Metalen hebben een positieve temperatuurcoëfficiënt, kool een negatieve.
Naarmate de temperatuurcoëfficiënt groter is, is de afhankelijkheid van de temperatuur groter.

Enige waarden:

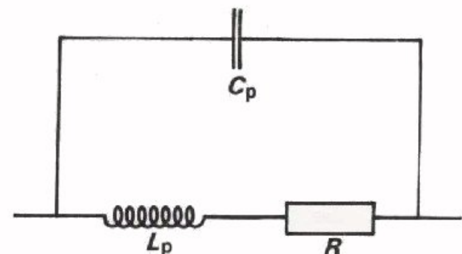
Materiaal	Temperatuurcoëfficiënt
constantaan	$+3.10^{-5}$
nickeline	$+2.10^{-4}$
koper	$+4.10^{-3}$
kool	-3.10^{-4}

In de meeste gevallen is de temperatuurafhankelijkheid een nare eigenschap van een weerstand. Als voorbeeld: Men gebruikt een weerstand van 100 Ω als meetweerstand. Wordt deze weerstand door temperatuurstijging ongemerkt 105 Ω, dan maakt men daardoor een fout van 5%.

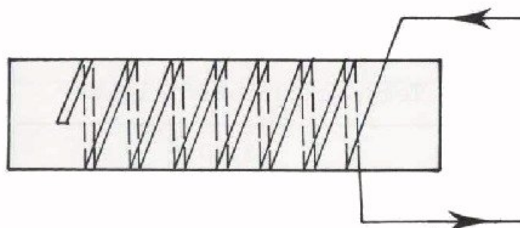
FREQUENTIE-AFHANKELIJKHEID

Een weerstand heeft behalve ohmse weerstand ook nog zelfinductie en capaciteit.
Denk b.v. aan een draadgewonden weerstand. Deze bestaat uit een klein spoeltje met vaak zeer veel windingen. Dit betekent dat er zelfinductie aanwezig is. De windingen vormen bovendien ten opzichte van elkaar condensatortjes, zodat de weerstand ook capaciteit bezit.
De zelfinductie en de capaciteit van een weerstand zijn zeer klein. Bij lage frequenties merkt men er nauwelijks iets van. Bij hoge frequenties kunnen zij echter zeer hinderlijk worden: men spreekt dan van *parasitaire* zelfinductie en capaciteit. Een weerstand is dan niet meer zuiver Ohms, maar gaat werken als een kring:

De reactanties van de parasitaire condensator $X_C = \frac{1}{\omega C_p}$ en van de parasitaire spoel $X_L = \omega L_p$ kunnen de waarde van de weerstand in niet geringe mate beïnvloeden.



Bij fabricage streeft men er uiteraard naar om de parasitaire C en L zo klein mogelijk te houden.
We geven hier een voorbeeld van een veel toegepaste methode om de zelfinductie bij draadgewonden weerstanden laag te houden.



Men wikkelt zogenaamd *bifilair*. De wikkeldraad wordt opgevouwen en daarna opgewikkeld als in de figuur hiernaast.
Op deze manier ontstaan twee spoeltjes "in elkaar".

In deze spoeltjes lopen de stromen tegengesteld. Dit heeft tot gevolg dat de magneetvelden van de spoeltjes elkaar opheffen en daarmee ook de zelfinducties.

STABILITEIT

Wordt een weerstand belast, dan heeft dit temperatuurstijging van de weerstand tot gevolg. De weerstandswaarde verandert dan als regel. Schakelen we de stroom door de weerstand uit, dan koelt de weerstand af en verkrijgt weer zijn oorspronkelijke weerstandswaarde.

Bij herhaaldelijk in- en uitschakelen kan er een moment komen dat de weerstand niet op zijn oorspronkelijke of *nominale* waarde terugkeert. Wordt deze afwijking groot, dan zegt men dat de weerstand een slechte *stabiliteit* heeft.

RUIS

Over de uiteinden van een weerstand ontstaan ten gevolge van ongelijkmatige temperatuurbeweging van de vrije elektronen kleine spanningsvariaties. De variaties zijn in de orde van slechts enkele microvolts. Dit verschijnsel wordt *thermische ruis* genoemd. Als een koolweerstand stroom voert ontstaat daardoor nog een extra ruis; men spreekt van *KOOL-RUIS*.
Ruis kunnen we b.v. met ons gehoor waarnemen bij een grammofoonversterker. Draait men de volumeregelaar op maximale geluidssterkte zonder dat een signaal wordt toegevoerd, dan hoort u een ruisen uit de luidspreker. Aan deze eigenschap dat hoorbaar gemaakte "ruis" als een ruisen wordt waargenomen, dankt het verschijnsel zijn naam.

MAXIMAAL TOELAATBAAR VERMOGEN

Ten gevolge van de stroom door een weerstand stijgt de weerstand in temperatuur. De temperatuur mag daarbij niet te hoog oplopen, omdat:

- de weerstandswaarde teveel kan veranderen.
- de weerstand zelf defect kan raken.
- andere onderdelen in de buurt opgewarmd kunnen worden, zodat hun goede werking in gevaar komt.

Het vermogen I^2R dat men aan een weerstand mag toevoeren is afhankelijk van de afmetingen van de weerstand. Indien twee weerstanden dezelfde weerstandswaarde hebben is het toelaatbaar vermogen het grootst bij de weerstand met de grootste afmetingen. Dit hangt samen met het feit dat de grootste weerstand een groter koeloppervlak heeft.

Weerstanden worden voor bepaalde toelaatbare vermogens gemaakt van b.v. 0,2 W, 0,33 W, 0,5 W, 1,15 W, 2 W, enz.

Om een zo groot mogelijke levensduur van weerstanden te bereiken, is het gunstiger om beneden het opgegeven maximaal toelaatbare vermogen te blijven.
Bijvoorbeeld: Neemt een weerstand een vermogen op van 0,5 W, dan is het raadzaam om b.v. een 1,15 W-type te kiezen.

TOELAATBARE SPANNING MET HET OOG OP ISOLATIE

Weerstanden zijn meestal van een isolerende laklaag voorzien. Deze isolatie is echter maar tot een maximale spanning geschikt. Wordt deze spanning overschreden, dan bestaat er kans op spanningsoverslag. Er slaan vonken over naar componenten vlak in de buurt en dit is uiterst schadelijk. Bovendien worden weerstanden in de praktijk vaak vlak bij elkaar of zelfs tegen elkaar aan gemonteerd om ruimte te sparen. Het spreekt vanzelf dat de isolatie dan van groot belang is. Men maakt weerstanden voor b.v. 150 V, 250 V, 350 V, 500 V, 1000 V.

OEFENINGEN

1. Door een serieschakeling van twee weerstanden, R_1 = 1 kΩ en R_2 = 5 kΩ, vloeit een stroom van 20 mA.
Welke keuze maakt u voor het maximaal toelaatbare vermogen van de weerstanden R_1 en R_2?

R_1 = 0,1 W	en	R_2 = 0,2 W	O
R_1 = 0,1 W	en	R_2 = 0,33 W	O
R_1 = 0,2 W	en	R_2 = 0,33 W	O
R_1 = 0,5 W	en	R_2 = 2 W	O

2. Een koolweerstand heeft een temperatuurcoëfficiënt van $-3.10^{-4}/^0C$. Een weerstand heeft bij kamertemperatuur (25^0C) een waarde van 1010 Ω.
De waarde bij 50^0C bedraagt:

minder dan 1000 Ω	O
tussen 1000 en 1010 Ω	O
tussen 1010 en 1020 Ω	O
meer dan 1020 Ω	O

3. Een weerstand van 9 kΩ is gemaakt van constantaan draad. Temperatuurcoëfficiënt constantaan: $+3.10^{-5}/^0C$.
Bovengenoemde weerstand wordt in serie geschakeld met een koolweerstand van 1 kΩ. Temperatuurcoëfficiënt van $-3.10^{-4}/^0C$.
De serieschakeling heeft een weerstandverandering van:

$\Omega/^0C$

DE TOLERANTIE

In sommige gevallen moeten weerstanden nauwkeurig de vermelde waarde bezitten én deze onder alle omstandigheden - zoals bij vochtigheid, bij verschillende temperatuur - houden. Dit geldt bijvoorbeeld in sterke mate voor weerstanden in meetapparatuur. In andere gevallen komt het dikwijls niet zó precies. De kosten voor het fabriceren van weerstanden met een grote nauwkeurigheid zijn uiteraard hoger dan die voor weerstanden die minder nauwkeurig zijn. Op elke weerstand staat vermeld welke nauwkeurigheid men mag verwachten.
De toelaatbare afwijking - de *tolerantie* - wordt opgegeven in procenten van de aangegeven waarde. De aangegeven waarde noemt men de *nominale waarde*.

Voorbeelden:

- We hebben een weerstand: 1 kΩ - 10%
  De nominale waarde is: 1000 Ω
  De tolerantie is: 10% van 1000 Ω
  10% van 1000 Ω is: $\frac{10}{100} \times 1000 = 100\ \Omega$.
  De waarde van deze weerstand ligt tussen:
  1000 + 100 = <u>1100 Ω</u>
  en 1000 - 100 = <u>900 Ω</u>.

- Een andere weerstand: 8K2 - 5%
  De nominale waarde is: 8200 Ω
  De tolerantie is: 5% van 8200 Ω
  5% van 8200 Ω is: $\frac{5}{100} \times 8200 = 410\ \Omega$.
  De waarde van de weerstand ligt tussen:
  8200 + 410 = <u>8610 Ω</u>
  en 8200 - 410 = <u>7790 Ω</u>.

WEERSTANDSREEKSEN

Om het aantal weerstanden beperkt te houden, fabriceert men weerstanden in een aantal zogenaamde weerstandsreeksen:

De E 96-reeks: tolerantie 1%
De E 48-reeks: tolerantie 2%
De E 24-reeks: tolerantie 5%
De E 12-reeks: tolerantie 10%
De E 6-reeks: tolerantie 20%.

De E 12-reeks bevat van 10 tot 100 Ω de volgende weerstanden:

10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68, 82 Ω.

Dit zijn 12 weerstanden. Daarna loopt de reeks verder:

100, 120, 150, ----
1K , 1K2, 1K5, ----

In de E 24-reeks vinden we tussen de waarden van de E 12-reeks telkens nog een waarde.

Het "geheim" van het ontstaan van deze reeksen is, dat de "+ tolerantie" van de ene waarde ongeveer aansluit bij de "- tolerantie" van de volgende.

Voorbeeld:

In de E 12-reeks is:
- de eerste waarde 10 Ω,
- de tweede waarde 12 Ω.

De hoogste waarde van de weerstand van 10 Ω mag zijn:

10 Ω + 10% = 10 + 1 = 11 Ω.

De laagste waarde van de weerstand van 12 Ω mag zijn:

12 Ω = 10% = 12 + 1,2 = 10,8 Ω.

Het heeft dus geen nut, in deze reeks voor 10%-weerstanden, een nog fijnere onderverdeling te maken.

OEFENING

Bekijk dit overlappen ook eens met 220 Ω en 330 Ω uit de E 6-reeks.

220 Ω + ___% = 220 + = [Ω]
230 Ω - ___% = 230 - = [Ω]

HET AANGEVEN VAN DE WAARDE

De waarde van elke weerstand wordt door de fabrikant op de weerstand zelf vermeld. Dit kan op twee manieren:

- Door de waarde in cijfers op de weerstand te stempelen.
- Door een kleurcode-systeem.

● De cijfercodering

Men vermeldt de waarde in cijfers en letters op de volgende manier:

10 E = 10 Ω
8 E 2 = 8,2 Ω
1 K = 1 kΩ = 1000 Ω
5 K 6 = 5,6 kΩ = 5600 Ω
10 M = 10 MΩ = 10 000 000 Ω
2 M 2 = 2,2 MΩ = 2 200 000 Ω.

De tolerantie wordt aangegeven door de toevoeging "..%".

Weerstanden die op deze manier gecodeerd zijn dient men steeds zó te monteren, dat de opgestempelde waarde leesbaar blijft. Bovenstaande schrijfwijze hanteert men ook dikwijls in schema's, stuklijsten en zelfs in het spraakgebruik.

● De kleurcodering

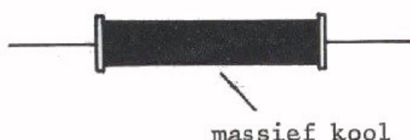
Bij het kleurcodesysteem geeft men de waarden aan door gekleurde ringen op de weerstand. Elke kleur heeft daarbij een getalwaarde.
Zie tabel op blad B101.10.
De ringen worden gelezen van het uiteinde van de weerstand naar het midden.

KOOLWEERSTANDEN

CONSTRUCTIE

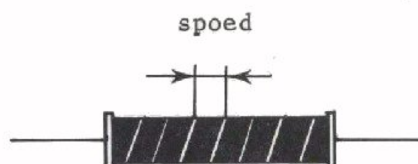
Koolweerstanden zijn de goedkoopste en meest gebruikte weerstanden. Zij worden in twee uitvoeringen gemaakt:

- In massieve vorm.
  Kool wordt hierbij tot een massief staafje geperst, dat aan twee zijden van een aansluitdraad wordt voorzien.



Om de weerstand tegen de inwerking van vocht te beschermen, is een laklaag aangebracht. Deze dient tevens als spanningsisolatie.

- In cilindrische vorm.
  Hierbij wordt op een keramisch staafje een dun laagje kool aangebracht. In deze koollaag is soms een spiraalvormige groef geslepen tot op het keramische staafje.



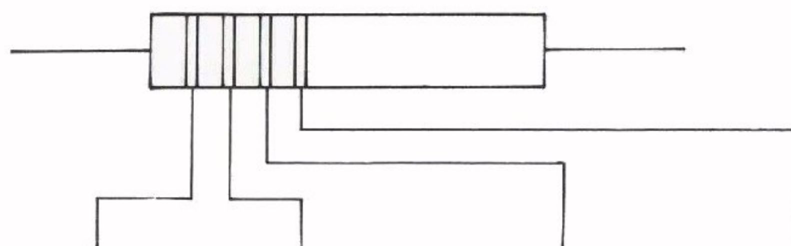
De dikte van de koollaag en de lengte en de breedte van het aldus gevormde "koollint" bepalen de weerstandswaarde:
Immers:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

l ← lengte, A ← dikte x breedte } van het "koollint"

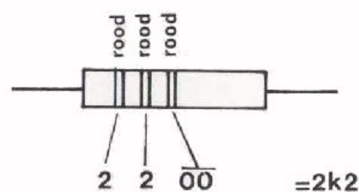
Door de spoed en de breedte van het slijpspoor te veranderen kan men koolweerstanden fabriceren van gelijke afmetingen en tóch sterk uiteenlopende weerstandswaarde.
Ook deze koolweerstanden zijn voorzien van een beschermende laklaag.

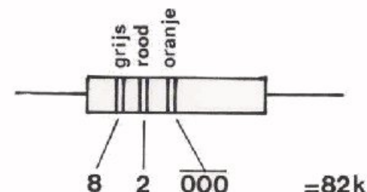
KLEURCODERING VAN KOOLWEERSTANDEN

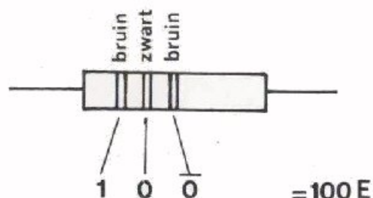


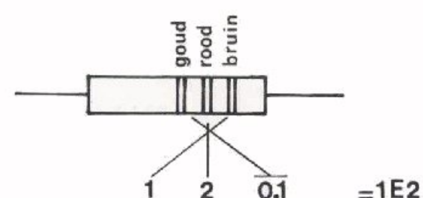
Kleur	1e cijfer + 2e cijfer	Vermenigvuldigings-factor	tolerantie
zwart	0	1 x	
bruin	1	10 x	± 1%
rood	2	100 x	± 2%
oranje	3	1000 x	
geel	4	10 000 x	
groen	5	100 000 x	
blauw	6	1 000 000 x	
violet	7	-	
grijs	8	-	
wit	9	-	
zilver		0,01 x	± 10%
goud		0,1 x	± 5%

VOORBEELDEN



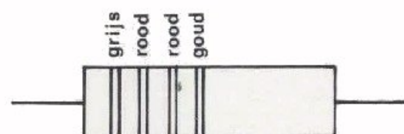


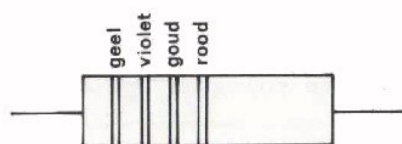


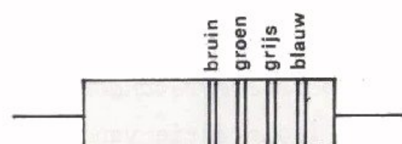


OEFENING

1. Welke waarde heeft een weerstand met volgende kleurcode? Geef ook de tolerantie in %.







2. Geef de kleurcode van volgende weerstanden:

1K5 ± 1%

3E9 ± 10%

820E ± 2%

56K ± 5%

1M8 ± 2%

DRAADGEWONDEN WEERSTANDEN

Naast koolweerstanden vinden draadgewonden weerstanden veel toepassing. Ten opzichte van de eerstgenoemde bezitten draadgewonden weerstanden een aantal gunstige eigenschappen:

- Zij zijn minder afhankelijk van de temperatuur, omdat men in de praktijk een draadsoort kiest met een kleine temperatuur-coëfficiënt.
- Zij bezitten een grote stabiliteit.
- Zij laten bij dezelfde afmetingen als een koolweerstand een groter vermogen toe.

Een nadeel is dat deze weerstanden slechts bij gelijkspanningen en wisselspanningen met lage frequenties te gebruiken zijn, omdat de parasitaire L en C bij hoge frequenties al gauw een rol gaan spelen (zie blad B101.2).

Draadweerstanden worden vervaardigd door een metaaldraad (b.v. constantaan) op een staaf of buis van keramisch materiaal te wikkelen.

In verband met bovengenoemde gunstige eigenschappen worden draadgewonden weerstanden dikwijls toegepast als *precisieweerstanden* in meetapparatuur. Zij worden geleverd in de E 192-reeks (tolerantie van 0,5 %).

In verband met hun hoge belastbaarheid worden deze weerstanden vaak gebruikt voor grote vermogens. Men levert ze voor grote belastingen tot 16 W in een E 12-reeks.
In de praktijk spreekt men in dit verband wel van *belastingweerstanden*.

METAALFILMWEERSTANDEN

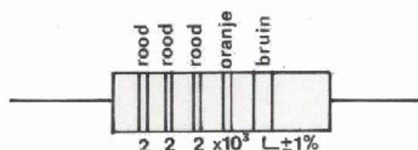
Metaalfilmweerstanden worden gemaakt door in een vacuümruimte een metaallaagje op een keramisch lichaam te dampen. In het aldus ontstane metalen filmpje wordt evenals bij koolweerstanden een spiraalvormige groef aangebracht. Op deze wijze kan een gewenste weerstandswaarde worden verkregen.

Metaalfilmweerstanden vinden dáár toepassing waar men een grote stabiliteit nodig heeft, b.v. in meetapparatuur en computers.

Metaalfilmweerstanden zijn verkrijgbaar in de E 192-reeks met een tolerantie van 0,5% en in de E 96-reeks met een tolerantie van 1%. Metaalfilmweerstanden worden ook met toleranties van 0,25% en 0,1% geleverd.
De waarde-aanduiding bij metaalfilmweerstanden wijkt vaak af van de bekende cijfer- en kleurcode. Voor de uitvoering met lakisolatie past men soms een iets gewijzigde kleurencode toe.

- Men gebruikt drie ringen voor het aangeven van de cijfers, één ring voor het aangeven van de vermenigvuldigingsfactor en één ring voor het aangeven van de tolerantie.

Voorbeeld uit de E 96-reeks van een weerstand waarvan R = 222 kΩ ± 1%.



Voor enkele uitvoeringen is ook een ander systeem in gebruik, te weten de zogenaamde MIL-standaard codering:

- Men geeft 4 cijfers, gevolgd door een letter, b.v. 2212 F.
  De eerste drie cijfers duiden een getal aan.
  Het laatste cijfer geeft het aantal nullen.
  De letter geeft de tolerantie, waarbij
  - B: ± 0,1%
  - C: ± 0,25%
  - D: ± 0,5%
  - F: ± 1 %

Voorbeeld: 2212 F → tolerantie; getal; aantal nullen

2212 F = 22 100 Ω ± 1%

- Met behulp van de letters R, K of M wordt de waarde aangegeven:

  R betekent: Ω
  K betekent: kΩ
  M betekent: MΩ.

De letter geeft tevens de komma aan.

Voorbeeld:

33 R 6 betekent 33,6 Ω.

De tolerantie wordt aangegeven als in het andere systeem met behulp van de letters B, C, D of F.

Voorbeeld:

22 K 1 F = 22,1 kΩ ± 1%.

OEFENING

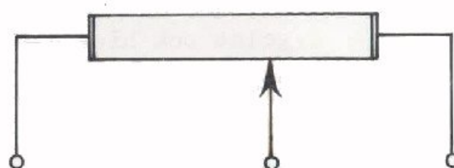
Op een aantal metaalfilmweerstanden vindt men volgende coderingen.
Vermeld de waarde van deze weerstanden en de tolerantie in de hokjes.

1150 B	
3242 F	
1493 D	
10R2F	
27R4B	
33K2C	
2K37D	

VARIABELE WEERSTANDEN

In het voorafgaande zijn *vaste weerstanden* besproken. Daarnaast kennen we *variabele weerstanden*.
Variabele weerstanden hebben drie aansluitingen: twee aan de uiteinden en een glijcontact, *loper* genoemd, dat over de weerstand kan worden geschoven.

Met behulp van deze loper kan men de weerstandswaarde tussen 0 en een maximum waarde instellen.



Als weerstandsmateriaal gebruikt men zowel kool als weerstandsdraad.

Variabele weerstanden noemt men veelal *potentiometers* of kortweg *potmeters*.
Meestal worden draaipotentiometers toegepast, soms schuifpotentiometers.

draaipotentiometer

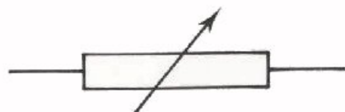


Men onderscheidt:

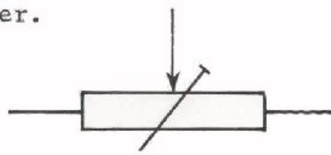
- *instelbare* weerstanden — symbool:
- *regelbare* potentiometers — symbool:

De instelbare zijn meestal zó geconstrueerd, dat de waarde alleen met behulp van een schroevedraaier kan worden veranderd.
Ze zijn bedoeld om éénmalig op een bepaalde waarde *ingesteld* te worden, bijvoorbeeld tijdens het afregelen van nieuwe apparaten. Bij eventuele reparaties van het apparaat kan de reparateur de waarde van de weerstand - indien nodig - opnieuw instellen. Een heel bijzondere en goed instelbare instelpotentiometer is de zogenaamde ten-turn potentiometer, waarvan de as 10 omwentelingen maakt tussen $R = 0$ en $R = \max$. De weerstandslaag is schroefgewijs opgebouwd.

De regelbare zijn zó geconstrueerd dat de waarde *regelbaar* is door middel van een knop. Ze zijn bedoeld om de gebruiker van een apparaat in staat te stellen de waarde van de weerstand naar wens te veranderen.
Denk bijvoorbeeld eens aan de volumeregelaar van uw radio en de helderheidregelaar van een televisie-ontvanger.



regelbare weerstand



instelbare potentiometer

CODERING VAN VARIABELE WEERSTANDEN

- Bij de waarde-aanduiding op variabele weerstanden gaat men uit van de waarde tussen de uiteinden. Deze waarde wordt in cijfercode of in de kleurcode voor weerstanden op de component aangegeven.

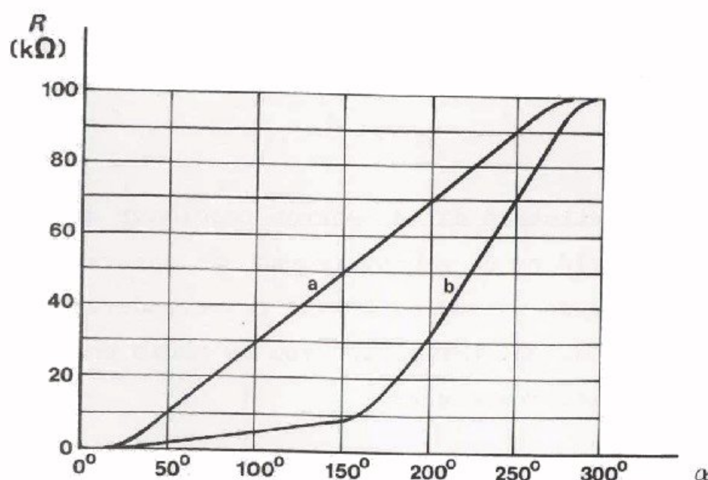
- Bij regelbare potentiometers wordt ook in cijfers het maximale vermogen (in watt) opgegeven. Evenals bij weerstanden met een vaste waarde geldt ook hier dat, naarmate de afmetingen van de variabele weerstand groter zijn, het maximaal toelaatbare vermogen groter is.

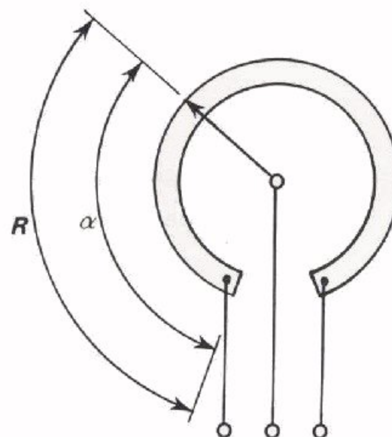
  Voor de vaste zowel als voor de variabele weerstand geldt in het algemeen dat de draadgewonden types grotere vermogens kunnen verdragen dan de kool-uitvoeringen.

- Op veel koolpotentiometers vindt men naast de waarde-aanduiding bovendien: "lin" of "log".
  Het zijn de afkortingen van "*lin*eair" en "*log*aritmisch".

  Bij lineaire potentiometers neemt de weerstandswaarde - tussen één uiteinde en de loper - steeds met dezelfde waarde toe, als de loper telkens eenzelfde aantal hoekgraden wordt verdraaid. Lijn a in de grafiek geeft dit weer.

  Bij logaritmische potentiometers is de weerstandstoename, bij gelijke hoekverdraaiingen, niet steeds hetzelfde. De weerstand neemt naar rechts draaiend aanvankelijk slechts weinig en vervolgens al maar sterker toe. Lijn b in de grafiek geeft het verloop weer.





DE CR- MR- en PR-REEKSEN

Het wordt meer en meer gebruikelijk weerstanden, in verband met het toelaatbaar vermogen, in reeksen van verschillende afmetingen te vervaardigen.

Men kent daarbij onder andere: CR-, MR- en PR-reeksen.

(CR: "carbonresistor" = koolweerstand).

(MR: "metalfilm resistor" = metaalfilmweerstand).

(PR: "power metalfilm resistor" = metaalfilmweerstand voor grote vermogens).

Het toelaatbare vermogen in de verschillende reeksen is in de volgende tabel weergegeven:

CR 16 - 0,2 W	MR 24 - 0,4 W	
CR 25 - 0,33 W	MR 25 - 0,4 W	
CR 37 - 0,5 W		
CR 52 - 0,67 W	MR 30 - 0,5 W	
CR 68 - 1,15 W	MR 34 - 0,5 W	MR 24 D - 0,125 W
CR 93 - 2 W	MR 52 - 0,75 W	MR 34 D - 0,25 W
		MR 54 D - 0,5 W
	MR 24 E/C - 0,1 W	MR 74 D - 0,75 W
	MR 34 E/C - 0,125 W	
	MR 54 E/C - 0,25 W	PR 37 - 1,6 W
	MR 74 E/C - 0,5 W	PR 52 - 2,5 W

Het getal achter de letters duidt de diameter van de weerstand aan.

CR 37 bijvoorbeeld is een koolweerstand met een diameter van 3,7 mm en een toelaatbaar vermogen van 0,5 W.

De opgegeven waarden gelden bij een omgevingstemperatuur van 70°C.

OEFENING

In een schakeling moet men een koolweerstand van 10 kΩ aanbrengen.
De stroom door de weerstand is 10 mA. Uit welke reeks kiest u deze weerstand?

CR 37 O

CR 52 O

CR 68 O

CR 93 O

SAMENVATTING

- Bij weerstanden zijn volgende eigenschappen van belang:
  - De *temperatuurafhankelijkheid.*
    Deze wordt vastgelegd met de temperatuurcoëfficiënt. Een grote positieve temperatuurcoëfficiënt betekent dat de weerstandswaarde bij temperatuurstijging sterk toeneemt.
  - De *frequentie-afhankelijkheid.*
    Bij hoge frequenties gaan zogenaamde parasitaire L's en C's een rol spelen. Een weerstand is dan niet meer zuiver Ohms.
  - De *stabiliteit.*
    Bij langdurig gebruik verliest een weerstand zijn nominale waarde. Zijn de afwijkingen groot, dan heeft een weerstand een slechte stabiliteit.
  - De *ruis.*
    Tengevolgde van onregelmatige elektronenbewegingen ontstaan tussen de uiteinden van een weerstand kleine spanningsvariaties. Deze zijn in sommige toepassingen zeer hinderlijk.
  - Het *maximaal toelaatbare vermogen.*
    Het maximale vermogen I^2R dat men aan een weerstand mag toevoeren is beperkt. Het hangt af van de afmetingen van de weerstand en van het weerstandsmateriaal.
  - De *maximaal toelaatbare spanning t.o.v. de omgeving.*
    Ook deze is beperkt. Wordt deze overschreden, dan slaan er vonken over naar de omgeving. Hierdoor kunnen beschadigingen in elektronische apparatuur optreden.
- Men onderscheid volgende typen weerstanden:
  - *koolweerstanden.*
    Deze zijn vervaardigd uit kool. Men vindt ze in massieve en in cilindrische vorm.

- *draadgewonden weerstanden.*

  Deze bestaan uit een metalen draad die op een houder is gewikkeld. Zij bezitten een grotere stabiliteit, zijn minder afhankelijk van de temperatuur en laten een groter vermogen toe dan koolweerstanden. Hun grotere frequentie-afhankelijkheid is een nadeel.

- *metaalfilmweerstanden.*

  Deze bestaan uit een dun metaalfilmpje dat op een keramische drager is gedampt. Zij hebben een zeer grote stabiliteit en kunnen met grote nauwkeurigheid worden gefabriceerd.

● Daarnaast kan men weerstanden indelen in:

- *vaste weerstanden* en
- *variabele weerstanden.*

  De laatste hebben drie aansluitingen. Met de middelste, de *loper*, kan men de weerstandswaarde tussen nul en een maximum variëren. Men spreekt meestal van *potentiometers*.
  Sommige variabele weerstanden, de zgn. *instelbare* weerstanden, stelt men eenmalig in. Andere, de *regelbare* weerstanden, verandert men herhaaldelijk.
  Bij potentiometers onderscheidt men nog de *lineaire* en de *logaritmische*. Bij de eerste neemt de weerstandswaarde lineair toe met de verschuiving van de loper. Bij de logaritmische neemt de weerstandswaarde aanvankelijk weinig toe, en bij verdere verschuiving van het glijcontact al maar sterker.

● CODERING van weerstanden geschiedt met:

- Een cijfercodering

B.v. 8E2 = 8,2 Ω
12E = 12 Ω
5K6 = 5,6 kΩ
2M2 = 2,2 MΩ

De tolerantie wordt in % vermeld.

- Een kleurcodering

Bij dit systeem geeft men de waarde aan met gekleurde ringen.
B.v. grijs - rood - oranje - bruin
= 8 2 000 Ω ± 1%

- Bij metaalfilmweerstanden gebruikt men dan zelfs twee systemen.

Voorbeeld: MR 81 duidt op een metaalfilmweerstand met een diameter van 8,1 mm. Het toelaatbare vermogen is 1,3 W.

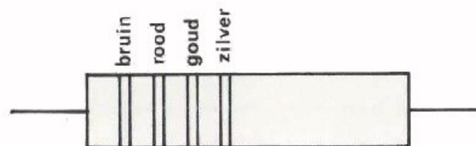
Bij variabele weerstanden geeft men de maximale waarde meestal op in een cijfercode, b.v. 3K3.
Bovendien vindt men bij koolpotentiometers de aanduiding: "Lin" voor lineaire en "Log" voor logaritmische potentiometers.

● Weerstanden vervaardigt men in reeksen. In de E 6-reeks met een tolerantie van 20%, in de E 12-reeks met een tolerantie van 10%, enz.
Deze reeksen zijn zo opgebouwd, dat de "+ tolerantie" van de ene waarde ongeveer aansluit bij de "- tolerantie" van de volgende.

NAAM: [ ] KLAS: [ ]

OEFENINGEN

1. Dit is een weerstand met een waarde van:

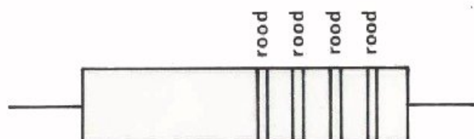


2K2	O
100E	O
82K	O
1E2	O

2. De E 96-reeks is gebaseerd op een tolerantie van:

± 5%	O
± 0,25%	O
± 1%	O
± 0,05%	O

3. Dit is een koolweerstand met een tolerantie van:



± 1%	O
± 2%	O
± 5%	O
± 10%	O

4. Op een weerstand staat vermeld: 27R4B.

Het is een:

metaalfilmweerstand, 27,4 Ω ± 1%	O
metaalfilmweerstand, 27,4 Ω ± 0,1%	O
metaalfilmweerstand voor 4 W max.	O
koolweerstand 27,4 kΩ ± 5%	O

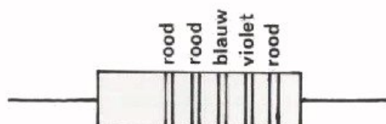
5. CR 68 duidt op een:

koolweerstand met 68 Ω	O
koolweerstand met een diameter van 6,8 mm	O
koolweerstand voor maximaal 2 W	O
metaalfilmweerstand van 6,8 Ω	O

6. Over een weerstand staat 50 V. Er loopt een stroom van 100 mA. We moeten een weerstand kiezen van tenminste:

0,25 W	O
0,5 W	O
1 W	O
5 W	O

7. Welke waarde heeft de hieronder geschetste metaalfilmweerstand?



97.10^{6} Ω	O
27.10^{3} Ω	O
22.10^{6} Ω	O
226.10^{7} Ω	O

BIJZONDERE WEERSTANDEN, DE VDR

In de elektronica worden veelvuldig weerstanden toegepast met bijzondere eigenschappen. We geven een korte opsomming:

- Er bestaan weerstanden waarvan de weerstandswaarde verandert onder invloed van het licht. Dit zijn de zogenaamde LDR's, (Light Dependend Resistors = licht afhankelijke weerstanden).

- Men past verder toe de PTC-weerstanden. Dit zijn weerstanden waarvan de waarde sterk toeneemt als de temperatuur stijgt. Deze weerstanden hebben dus een Positieve Temperatuur Coëfficiënt.
  Er zijn ook NTC-weerstanden. Deze bezitten een Negatieve Temperatuur Coëfficiënt; hun weerstandswaarde neemt sterk af bij stijgende temperatuur.

- Tenslotte kennen we nog de VDR's. Dit zijn weerstanden waarvan de waarde afhangt van de toegevoerde spanning. VDR betekent: "Voltage Dependend Resistor" = van de spanning afhankelijke weerstand.

In deze en de volgende lessen komen een aantal van deze bijzondere weerstanden ter sprake. We beginnen met de VDR.

DE KARAKTERISTIEK VAN EEN GEWONE WEERSTAND

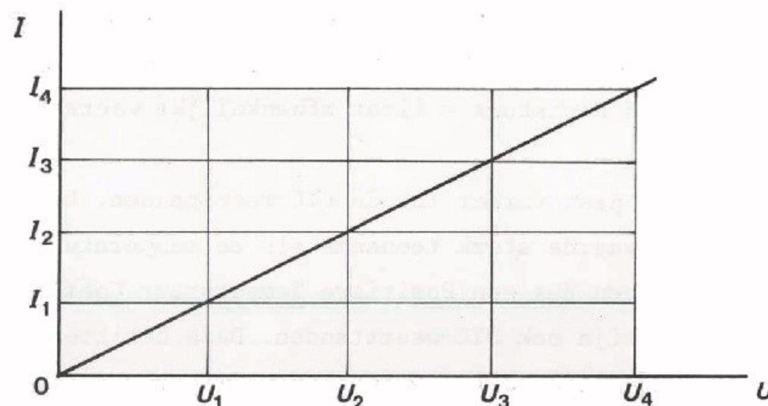
Bij weerstanden met bijzondere eigenschappen zullen we vaak te maken krijgen met *karakteristieken*. Als inleiding behandelen we eerst de karakteristiek van een gewone weerstand. Zetten we tussen de uiteinden van een weerstand R een spanning U_1, dan loopt er volgens de wet van Ohm een stroom $I_1 = \frac{U_1}{R}$.

Voeren we een grotere spanning U_2 toe, dan loopt er een grotere stroom $I_2 = \frac{U_2}{R}$.

Bij een gewone weerstand geldt:

$$R = \frac{U_1}{I_1} = \frac{U_2}{I_2} = \text{enz. } \ldots\ldots = \text{constant}$$

Zet men in een grafiek het verband uit tussen de spanning U over een gewone weerstand en de stroom I door die weerstand, dan ontstaat een rechte lijn.



Het verband tussen spanning en stroom, weergegeven in een grafiek, noemt men een *karakteristiek*. Door het verloop van U en I wordt het karakter van een component geheel vastgelegd, vandaar de naam "karakteristiek". Bij een gewone weerstand is deze karakteristiek recht. Wegens het rechtlijnig verloop van de karakteristiek noemt men een gewone weerstand ook wel een *lineaire weerstand*.

OPMERKING

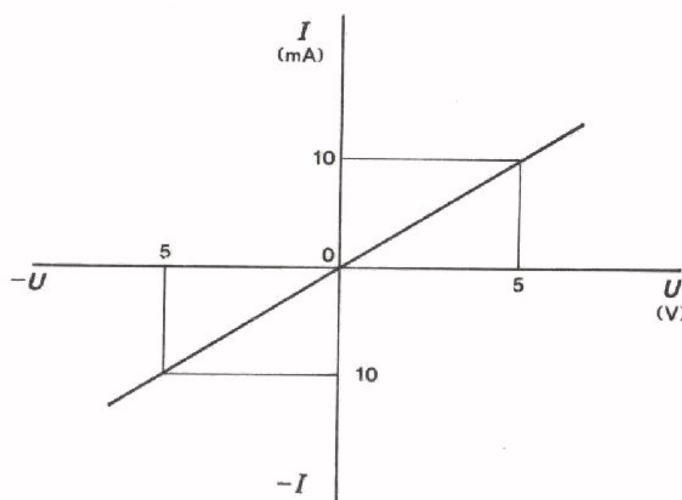
Bovenstaande karakteristiek komt uit in het snijpunt van de beide assen, de *oorsprong* van het assenstelsel. Dit is logisch, want bij een spanning van 0 V over een weerstand is de stroom erdoor 0 A.

DE KARAKTERISTIEK EN WISSELSPANNING

Verwisselen we de + en de - van de spanningsbron die is aangesloten op een weerstand, dan gaat de stroom in de andere richting lopen.

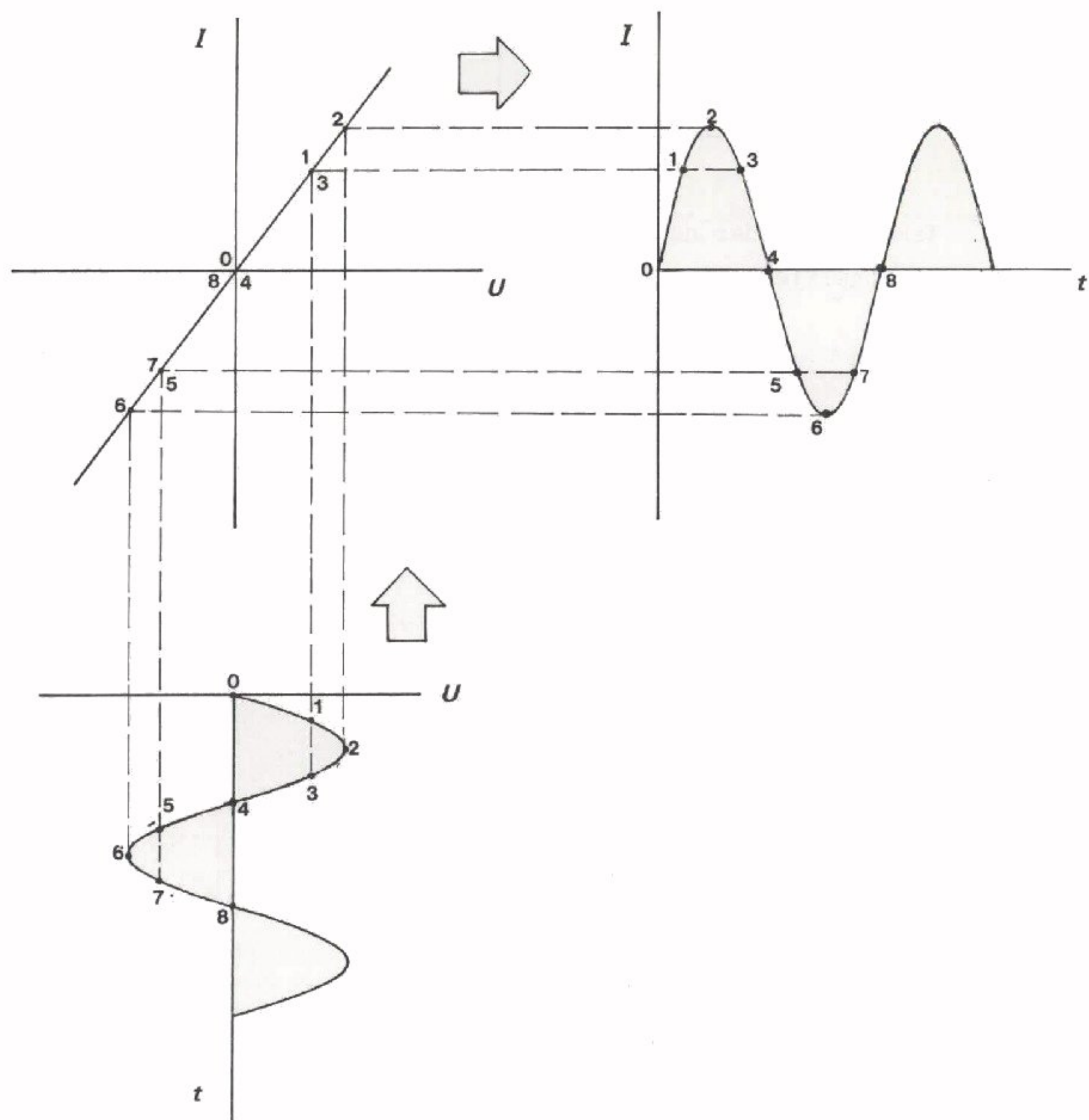


In de karakteristiek kunnen we dit als volgt tot uitdrukking brengen.

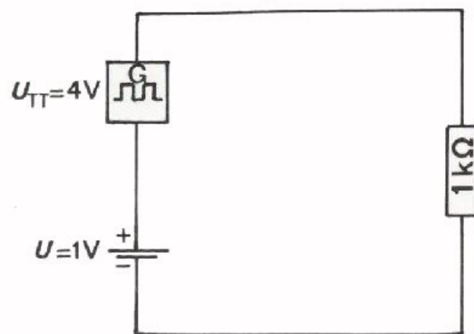


De karakteristiek is doorgetrokken naar links onder (het derde kwadrant). Bij een spanning van b.v. 5 V in de ene richting loopt er een stroom van b.v. 10 mA. Sluiten we de spanning nu andersom aan, dan kan men stellen dat er -5 V op wordt aangesloten; de stroom is dan -10 mA.

We veronderstellen tenslotte dat we op een weerstand een sinusvormige wisselspanning aansluiten. Beurtelings staat er dan een positieve en een negatieve spanning over de weerstand. Ook de stroom wisselt elke halve periode van teken. Op volgend blad ziet u dit in een constructie tot uitdrukking gebracht. Ga deze tekening zorgvuldig na.

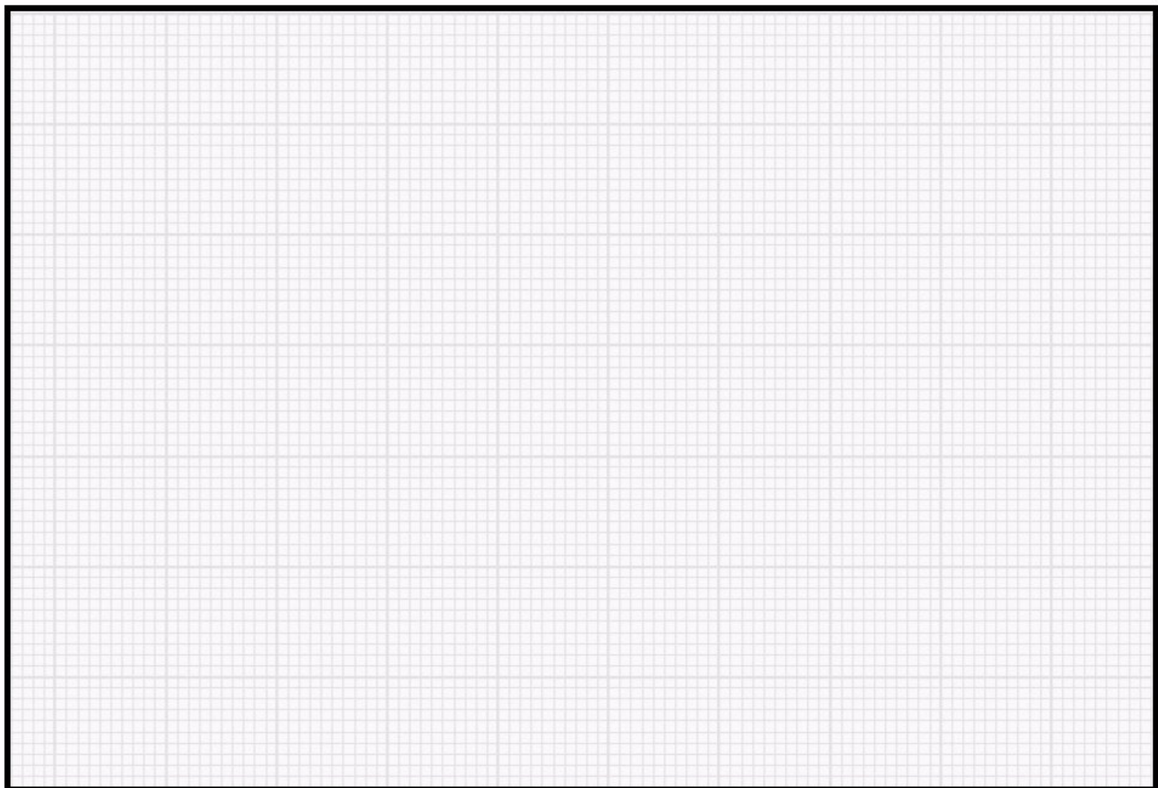

I
U
0
8
4
1
2
3
5
6
7
I
t
0
1
2
3
4
5
6
7
8
U
t
0
1
2
3
4
5
6
7
8

OEFENING



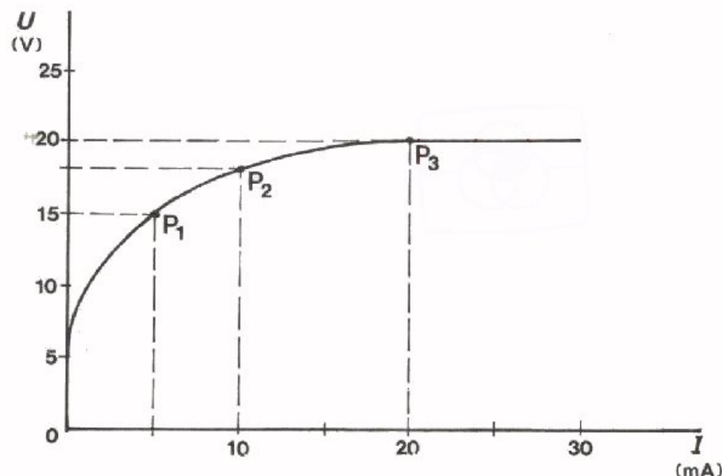
Op een weerstand van 1 kΩ wordt een onzuivere wisselspanning aangesloten met een gelijkspanningscomponent U = 1 V en een wisselspanningscomponent die bestaat uit een blokspanning met een top tot top-waarde van 4 V.

Teken hieronder de karakteristiek van de weerstand en construeer op soortgelijke wijze als op het vorig blad het verloop van de stroom.



DE VDR

Na een lange inleiding komen we nu op het hoofd-onderwerp van deze les: de VDR. Een VDR is een weerstand waarvan de waarde afhangt van de spanning die er op is aangesloten. Bij een kleine spanning heeft een VDR een hoge weerstandswaarde. Bij toenemende spanning neemt de weerstandswaarde af. Om het gedrag van een VDR duidelijk in te zien, is hieronder de karakteristiek van een VDR gegeven. Het is gebruikelijk bij deze karakteristieken de stroom horizontaal en de spanning verticaal uit te zetten. Denk er wel aan dat dit in tegenstelling is met de karakteristiek van de gewone weerstand zoals we die altijd hebben getekend.



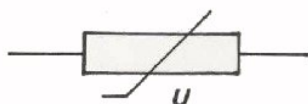
Het verband tussen spanning en stroom is een gebogen lijn. Bij gewone weerstanden is het verband een rechte lijn. Het "kromme" verloop van de spanning-stroom-grafiek betekent dat de weerstand niet constant is.
Om dit in te zien berekenen we de weerstand voor drie punten van de grafiek.

$$P_1: \left.\begin{array}{l} I_1 = 5 \text{ mA} \\ U_1 = 15 \text{ V} \end{array}\right\} \quad R_1 = \frac{15}{5.10^{-3}} = 3000\ \Omega.$$

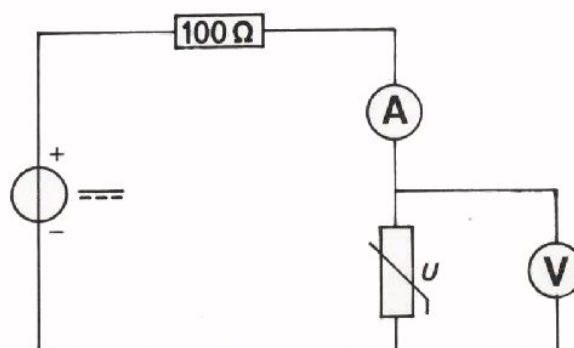
$$P_2: \left.\begin{array}{l} I_2 = 10 \text{ mA} \\ U_2 = 18 \text{ V} \end{array}\right\} \quad R_2 = \frac{18}{10.10^{-3}} = 1800\ \Omega.$$

$$P_3: \left.\begin{array}{l} I_3 = 20 \text{ mA} \\ U_3 = 20 \text{ V} \end{array}\right\} \quad R_3 = \frac{20}{20.10^{-3}} = 1000\ \Omega.$$

Alvorens een meting uit te gaan voeren geven we het schema-symbool voor een VDR:



OPDRACHT: "METEN VAN DE SPANNING- STROOM-KARAKTERISTIEK VAN EEN VDR"



- Bouw deze schakeling op het paneel. Zet de gelijkspanningsbron op 0 V.

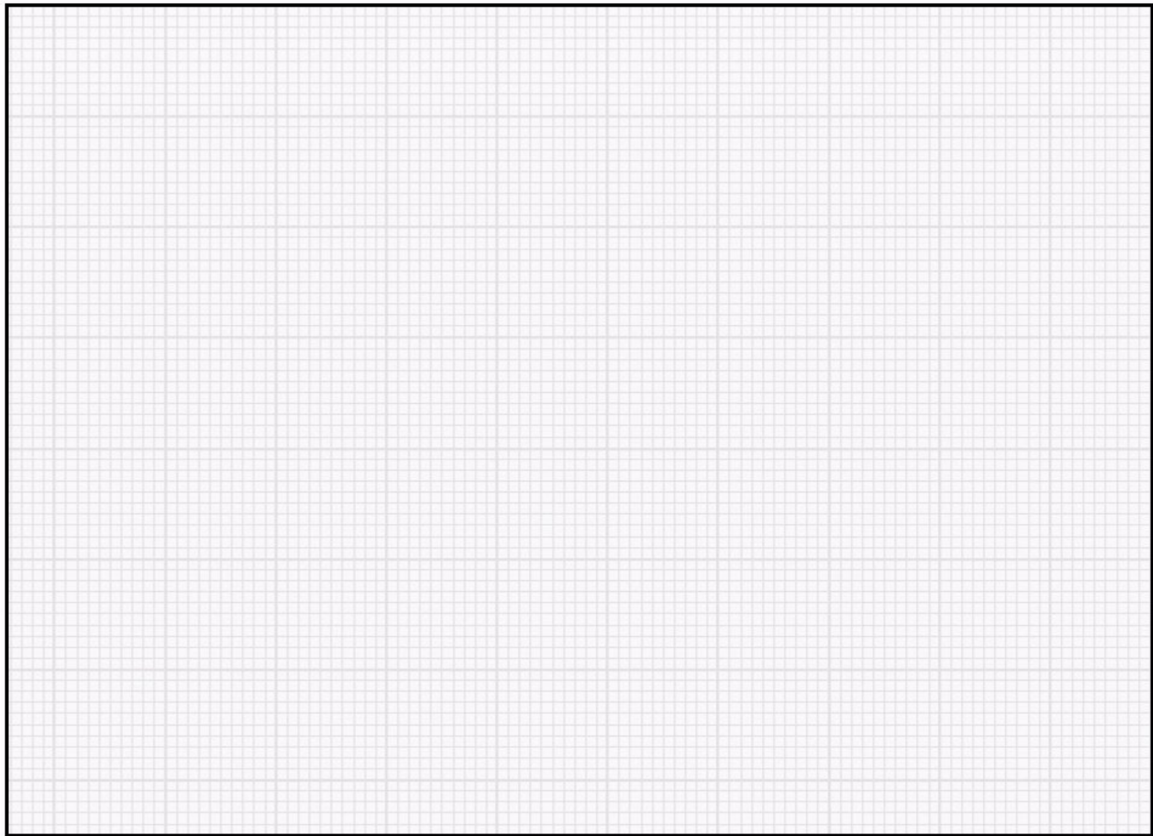
- Stel achtereenvolgens de stroom in op de waarden die in de tabel hieronder vermeld staan. Noteer de aanwijzing van de voltmeter telkens in de tabel.

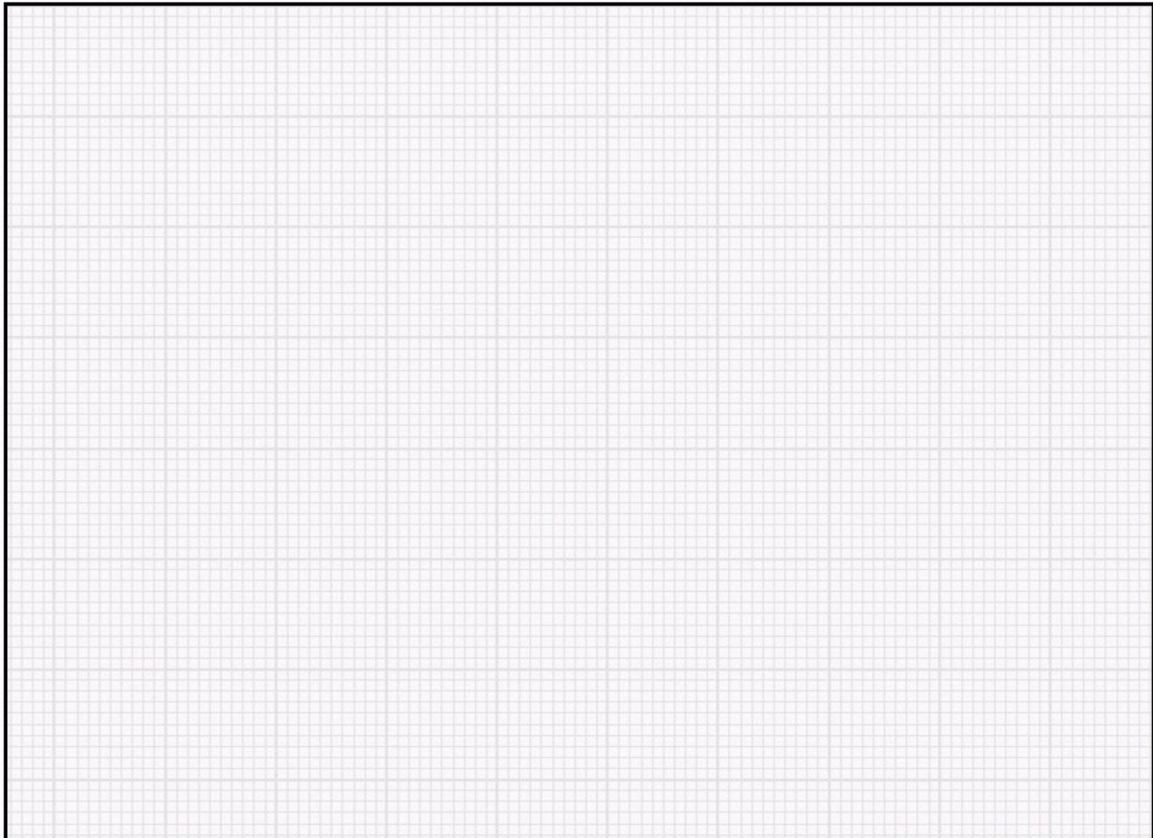
- Bereken voor iedere waarde van stroom en spanning de weerstandswaarde van de VDR. Noteer deze in de laatste kolom van de tabel.

I (mA)	*U* (V)	*R* (kΩ)
0,5		
1		
2		
5		
10		
20		
30		
50		

- Teken met deze gegevens de grafiek van *U* en *I* op volgend blad.

- Teken daaronder de grafiek van *R* tegen *U*.



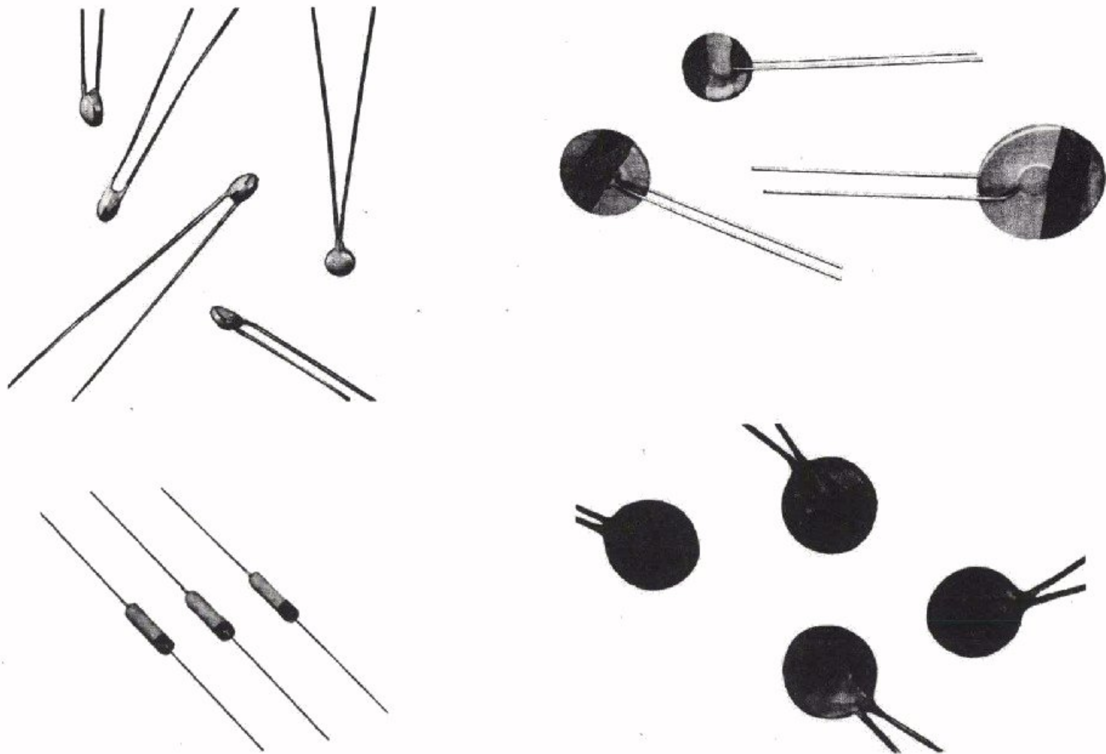


UITVOERINGSVORMEN VAN VDR's

VDR's komen in twee uitvoeringsvormen voor:

- schijfvormig,
- staafvormig.

Hieronder zijn een aantal uitvoeringen afgebeeld.



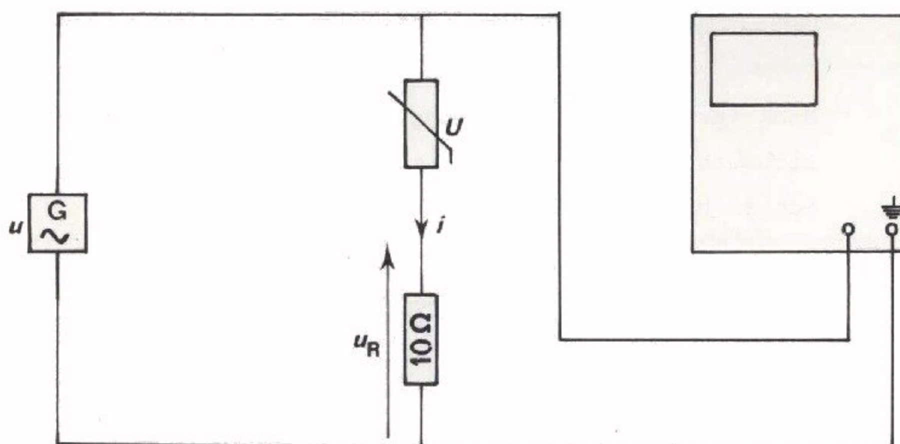
De meeste typen zijn voorzien van een laklaag. Hierop is een kleurcodering aangebracht.

CODERING VAN VDR's

VDR's codeert men door middel van kleuren. Dit gebeurt niet volgens een vast systeem. Moet men op grond van de kleuren vaststellen met welke VDR men te maken heeft, dan zit er niets anders op dan dit in bijvoorbeeld een handboek op te zoeken.

OPDRACHT: "DE VDR OP WISSELSPANNING"

In deze opdracht voeren we een sinusvormige wisselspanning aan een VDR toe. Vervolgens gaan we na hoe de stroom i door de VDR verloopt. Om het verloop van i zichtbaar te maken zetten we in serie met de VDR een veel kleinere gewone weerstand van 10 Ω. De spanning u_R over deze weerstand zal net zo verlopen als i.

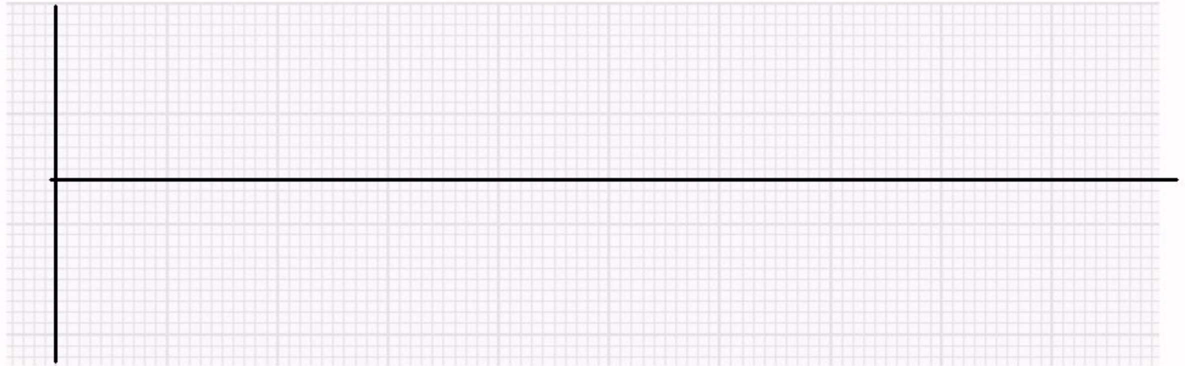


- Bouw deze schakeling op het paneel.

- Stel de L.F. generator in op 100 Hz.
  Regel de generatorspanning op U_t = 10 V met de oscilloscoop.
  Maak twee perioden van deze spanning, die nagenoeg gelijk is aan de spanning over de VDR alleen, zichtbaar.

- Teken deze spanning op het volgend blad.

- Schets het beeld van het scherm op volgend millimeterpapier.

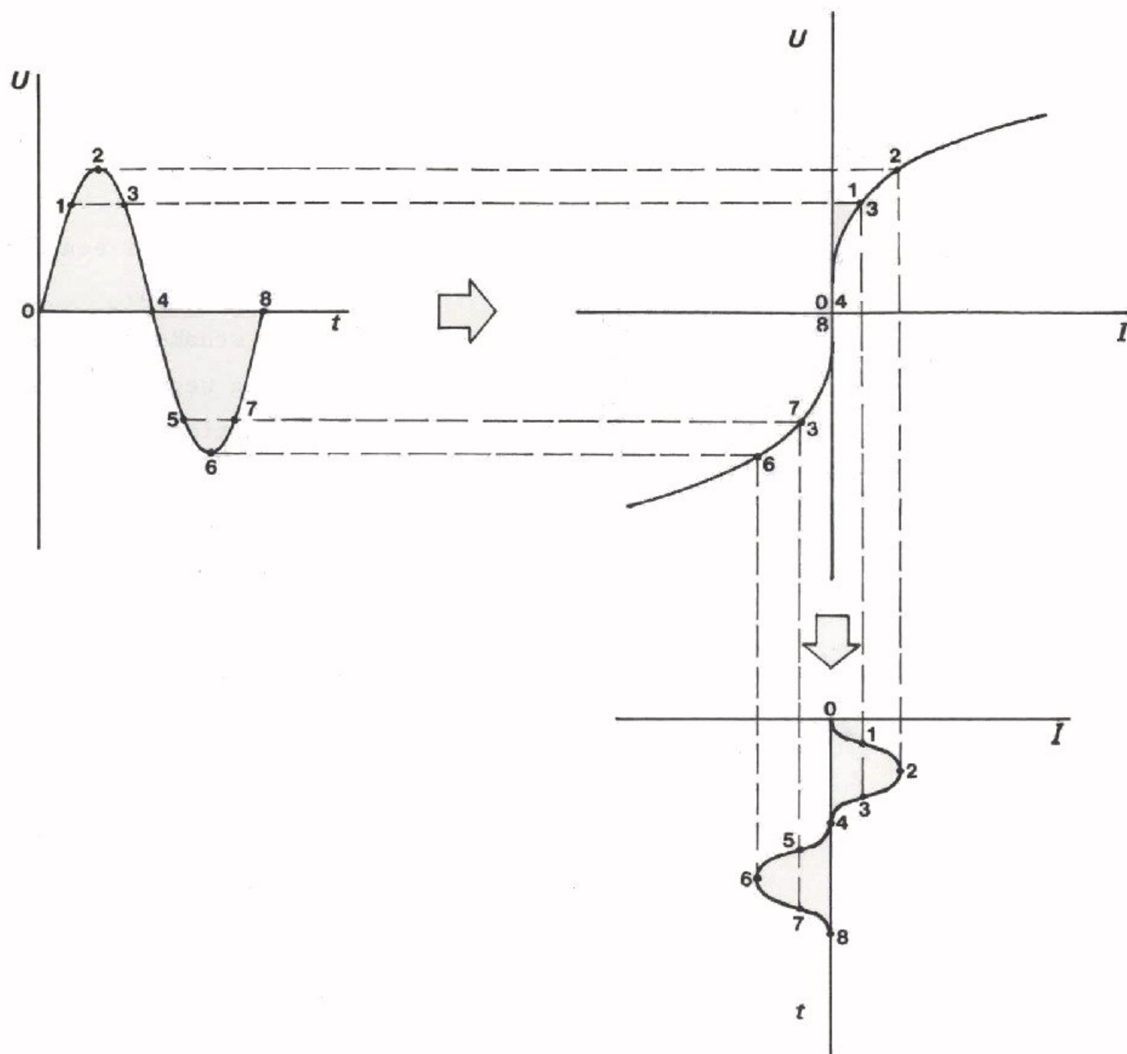


- Maak vervolgens de spanning over de weerstand van $R = 10\ \Omega$ op het scherm zichtbaar. Deze verloopt net zo als de stroom i door de VDR. Schets hieronder het beeld dat u waarneemt.



De grafieken op dit blad geven een beeld van de spanning over, respectievelijk de stroom door, de VDR. De spanning is zuiver sinusvormig, maar de stroom niet. Hoe is dit te verklaren?

Het volgt eenvoudig uit hetgeen we in het begin van deze les geleerd hebben over karakteristieken. Bij de constructie op blad B102.5 hadden we te maken met een rechte karakteristiek. Een sinusvormige spanning gaf dan een eveneens sinusvormige stroom. We weten inmiddels dat een VDR een niet-lineaire karakteristiek heeft. Uit de constructie op volgend blad zien we duidelijk dat een sinusvormige spanning nu een niet-sinusvormige stroom veroorzaakt. Ga deze constructie zorgvuldig na.



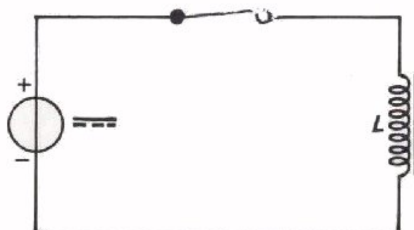
Let bij de bestudering op het volgende:

- We hebben gezien dat het gebruikelijk is bij VDR-karakteristieken spanning verticaal en stroom horizontaal uit te zetten. Bij de constructie is daarom de sinusvormige wisselspanning links getekend en de stroom onderaan.

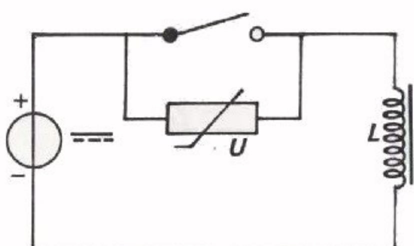
- De VDR-karakteristiek is in het derde kwadrant nogmaals getekend om de constructie ook voor negatieve halve perioden van de sinusvormige wisselspanning uit te kunnen voeren.
  De karakteristiek is in het derde kwadrant precies hetzelfde als in het eerste. *Deze* VDR gedraagt zich precies hetzelfde als men de polariteit van de spanning omdraait. Het is een symmetrische VDR. We merken op dat er zogenaamde asymmetrische VDR's zijn, waarbij de karakteristieken in het eerste en het derde kwadrant niet hetzelfde verlopen.

TOEPASSINGEN VAN VDR's

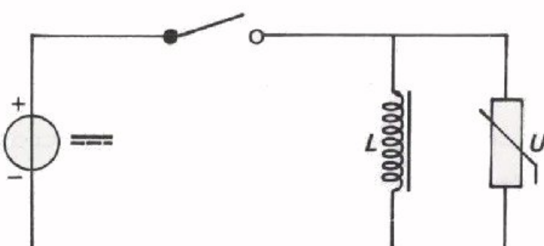
Een veelgebruikte toepassing van een VDR is die van bescherming van contacten.



In deze schakeling is een *L* aangesloten op een spanningsbron.
Opent men de schakelaar, dan veroorzaakt het plotseling wegvallen van de stroom een hoge inductiespanning over de spoel en dus over het contact.
Tussen de contacten ontstaat een vonk die de contacten gedeeltelijk wegbrandt of "vastbakt".



In de schakeling is nu over de schakelaar een VDR geplaatst. Voor de voedingsspanning heeft deze VDR een zeer hoge weerstand. Bij het openen van de schakelaar valt de stroom nu niet plotseling weg, waardoor de hoge inductie-spanning niet meer optreedt.
Er ontstaat nu geen vonk.

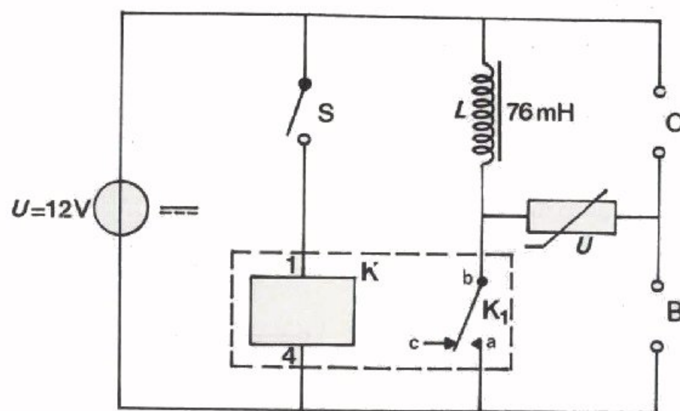


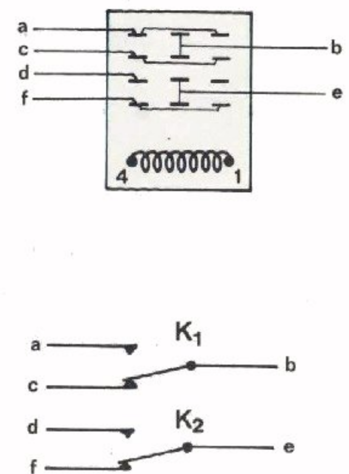
Een andere manier om de vonk te blussen is deze schakeling. Ook nu wordt de vonkvorming voorkomen, omdat de stroom door de spoel langzamer afneemt na het openen van de schakelaar. Hij blijft via de VDR nog even doorlopen.

Opmerking.
In bovenstaande schakelingen moet de VDR zó worden gekozen, dat zijn weerstand bij de toegepaste voedingsspanning groot is ten opzichte van de spoelweerstand. Dan zal er in het tweede geval bij open schakelaar niet veel stroom lopen, terwijl in het derde geval bij gesloten schakelaar de VDR veel minder stroom zal trekken dan de spoel.

OPDRACHT: "DE VDR ALS VONKBLUSSER"

Overzicht relais-contacten





- Bouw deze schakeling op het paneel.
  In de schakeling is een *relais* opgenomen. Over relais wordt verderop in de cursus meer verteld. We beperken ons hier tot een korte verklaring.

  Een relais heeft een wikkeling K en een ijzeren kern die samen een elektromagneet vormen. Bij voldoende stroom door de wikkeling treedt het relais in werking; er wordt dan een contact K_1 gesloten. Daalt de stroom beneden een bepaalde waarde, dan opent het contact weer.

- Sluit de schakelaar S even; let op de werking van het relais. Herhaal dit enige malen. Let goed op het contact K_1: U kunt duidelijk een vonk waarnemen. Houd zonodig uw handen om het relais heen, in het donker ziet u de vonken goed.

- Breng nu een doorverbinding aan bij C. De VDR wordt daardoor over de spoel geschakeld. Als u daarna de schakelaar enige malen opent en sluit ziet u geen vonk meer over het contact K_1 ontstaan.

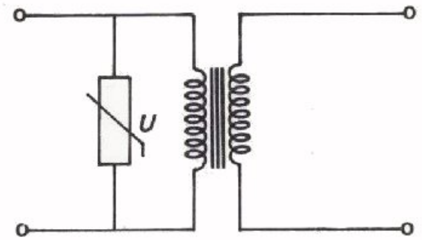
- Verwijder de doorverbindingen bij C en breng er een bij B aan. Nu staat de VDR over het contact K_1. Open en sluit de schakelaar S weer enige malen. Ook nu constateert u geen vonk.

- Tracht het al of niet optreden van de hoge piekspanning bij het uischakelen zichtbaar te maken door de oscilloscoop over het relaiscontact K_1 aan te sluiten.

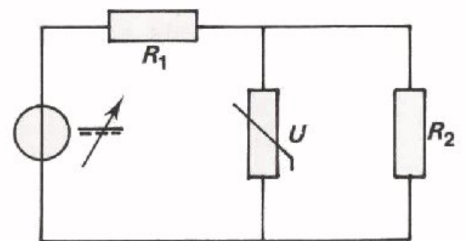
VERDERE TOEPASSINGEN VAN DE VDR

We hebben een toepassing van een VDR als vonkenblusser behandeld. Hieronder geven we in het kort nog twee toepassingen.

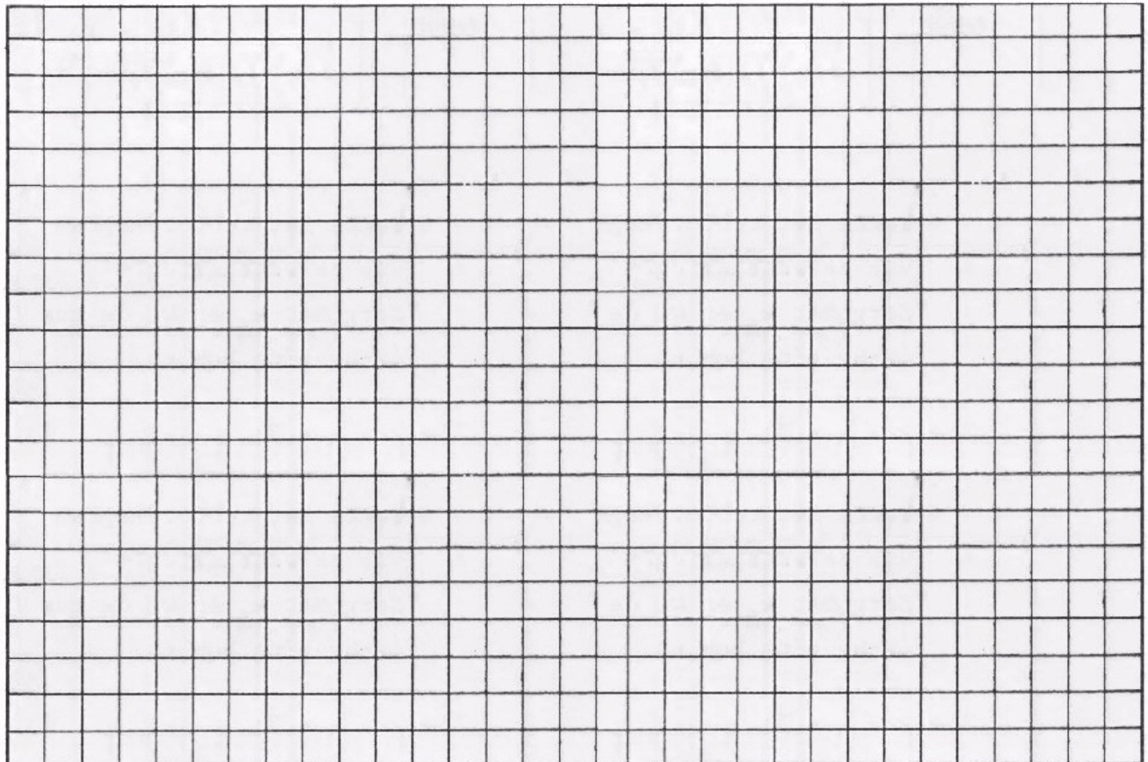
- Over de primaire wikkeling van een transformator ontstaan soms hoge spanningen, zgn. piekspanningen, doordat de stroom in de transformatorspoel snel verandert. Door parallelschakeling van een VDR kan men deze piekspanningen voorkomen.



- In deze schakeling wordt de spanning over de weerstand R_2 bij variërende voedingsspanning tussen nauwe grenzen constant gehouden. Men zegt dat de spanning over R_2 *gestabiliseerd* wordt.



Tracht de invloed van de VDR in de laatste schakelingen te verklaren aan de hand van de karakteristiek van deze component.

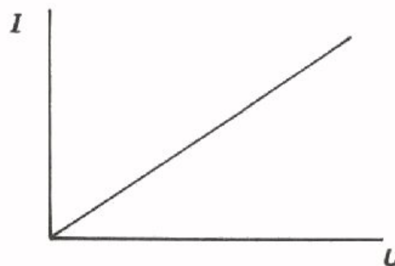


SAMENVATTING

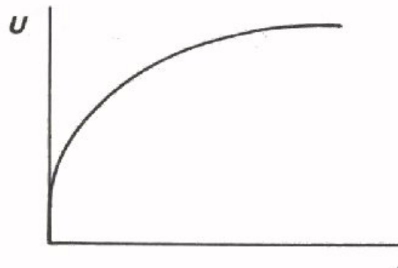
- Volgende weerstanden met bijzondere eigenschappen vinden in de elektronica veelvuldig toepassingen:

  - LDR's, "voor het licht gevoelige" weerstanden.
  - PTC- en NTC-weerstanden.
    Deze hebben een grote positieve, resp. negatieve temperatuurcoëfficiënt.
  - VDR's, "van de spanning afhankelijke" weerstanden.

- De karakteristiek van een lineaire weerstand ziet er als volgt uit:

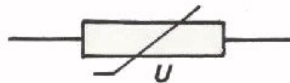


- De karakteristiek van een VDR als volgt:



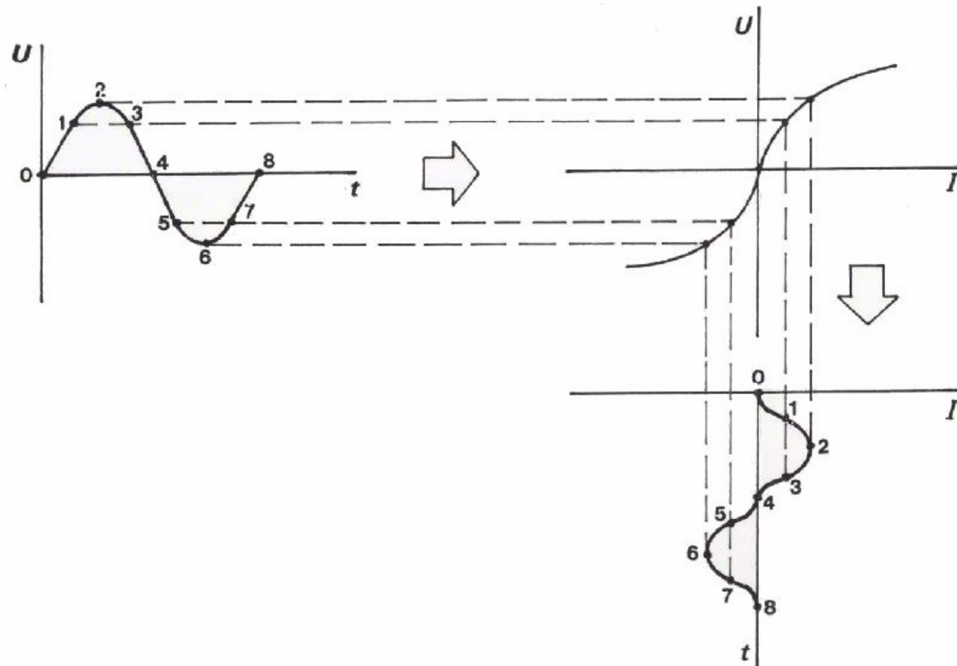
  Dit verloop betekent dat de weerstand vermindert bij toenemende stroom.

- Het schemateken voor een VDR is:

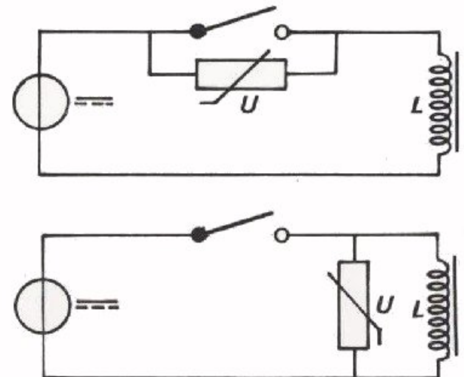


- VDR's codeert men door middel van kleuren.
  Voor deze kleurcodering moet men een handboek raadplegen.

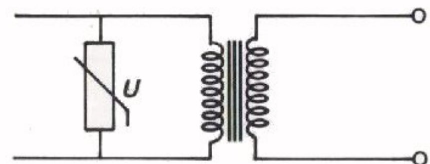
● De wijze waarop een VDR een wisselspanning verwerkt, blijkt uit volgende constructie.



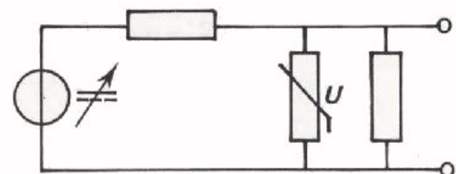
● VDR's vinden toepassingen bij het beschermen van contacten. Bij het uitschakelen van de stroom door een spoel ontstaat een vonk die de contacten op den duur wegbrandt. Door middel van een VDR "blust" men deze vonk.



● Een toepassing van VDR's is het voorkomen van piekspanningen bij een transformator.



● Door middel van een VDR is het mogelijk een spanning te stabiliseren.



NAAM:

KLAS:

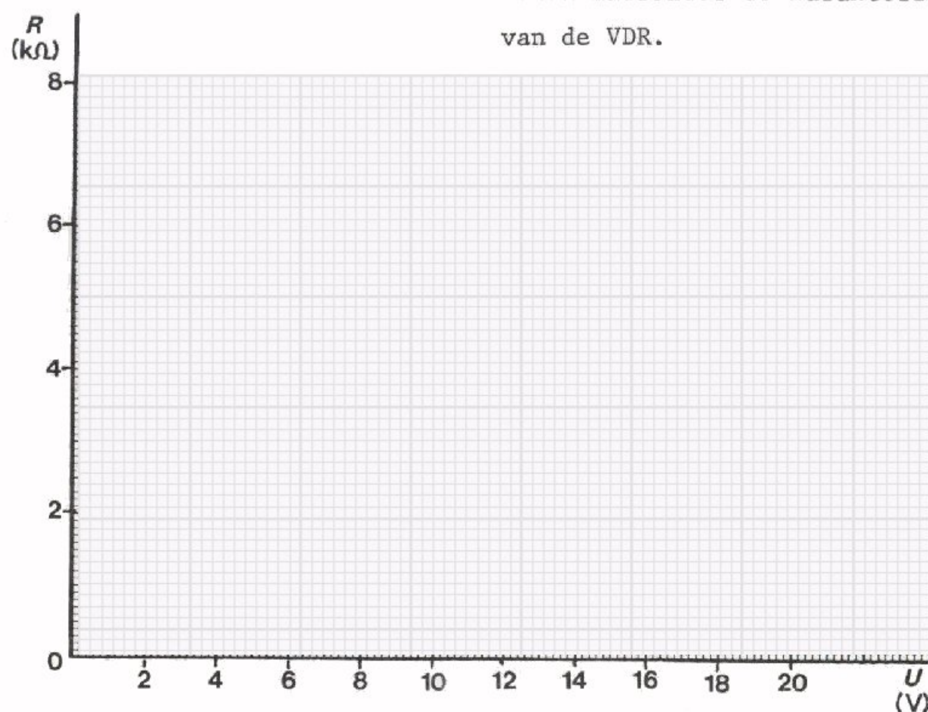
OEFENINGEN

1. Teken het symbool voor een VDR.

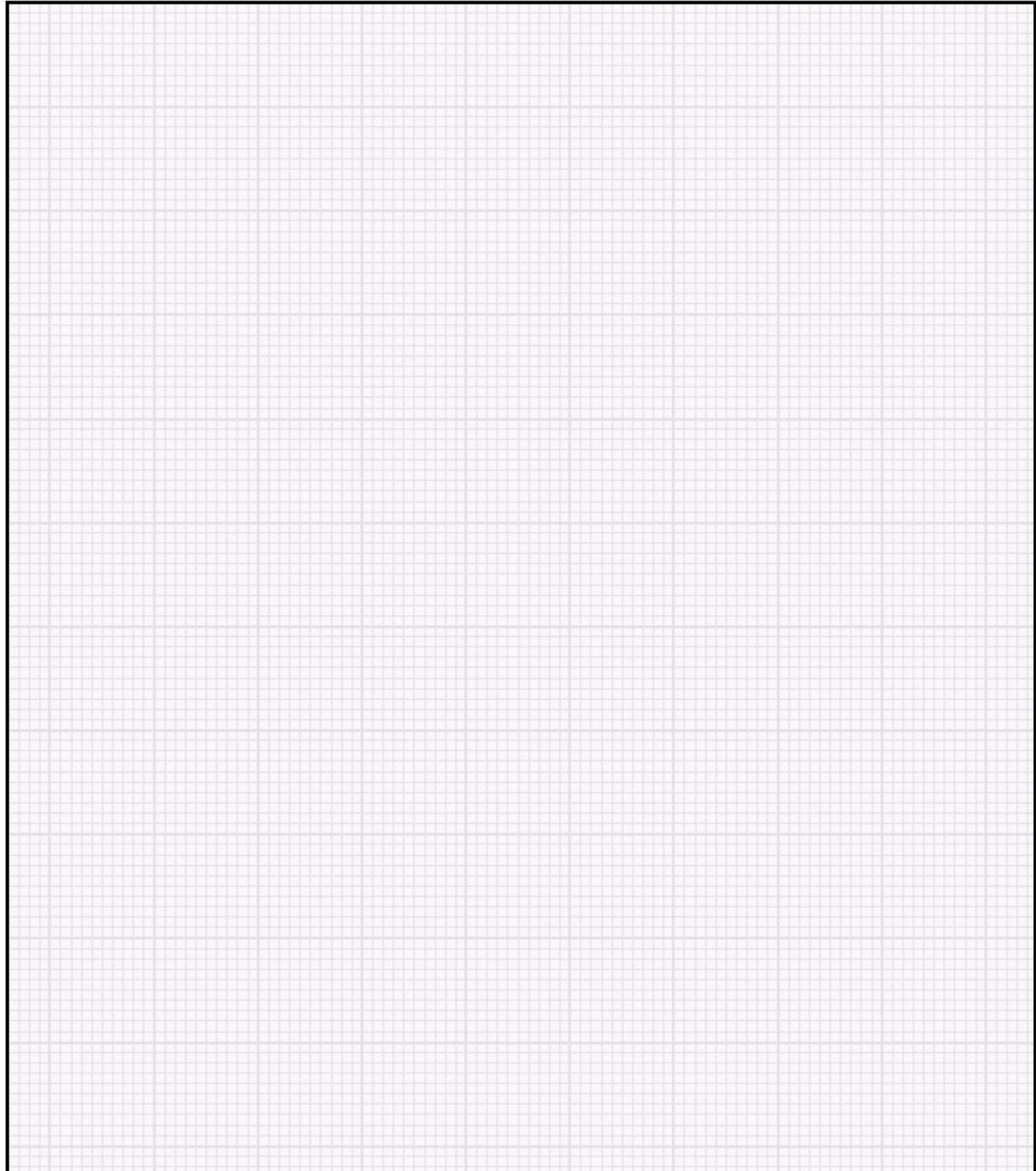
2. Aan een VDR heeft men volgende waarden van stroom en spanning gemeten.

I (mA)	*U* (V)
0,5	3,1
1	4,2
2	5,6
5	7,9
10	10,3
20	13
30	15
50	17

Teken hieronder de karakteristiek van de VDR.



3. In onderstaande grafiek is de karakteristiek van een VDR gegeven. Construeer nauwkeurig hoe het verloop van de stroom is bij de gegeven spanning over de weerstand.



B 103

BIJZONDERE WEERSTANDEN
DE LDR EN DE NTC-WEERSTAND

INLEIDING

In de vorige les hebben we ons bezig gehouden met een bijzondere weerstand, de VDR.
We hebben gezien dat dit een weerstand is waarvan de waarde afhangt van de spanning. In deze les gaan we een tweetal andere bijzondere weerstanden bekijken.

- Eerst de LDR, een weerstand waarvan de waarde verandert onder invloed van het licht.
- Daarna de NTC-weerstand, een weerstand waarvan de waarde onder invloed van de temperatuur verandert.

DE LDR

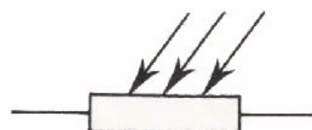
LDR's (Light Dependent Resistors = licht afhankelijke weerstanden) zijn, zoals de naam reeds aangeeft, gevoelig voor licht. In het donker is de weerstandswaarde hoog, b.v. meer dan 1 MΩ. Naarmate er meer licht op valt, vermindert de weerstandswaarde. Bij zeer veel licht neemt de weerstandswaarde af tot b.v. 100 Ω. De weerstandswaarde in donker noemt men de *donkerweerstand*, de weerstandswaarde in het volle licht heet de *lichtweerstand*. In bovenstaand voorbeeld geldt dat de verhouding:

$$\frac{R_{\text{donker}}}{R_{\text{licht}}} = \frac{10^6}{100} = 10^4.$$

Een LDR is niet voor alle soorten licht even gevoelig; rood - oranjeachtig licht heeft de sterkste invloed.

Een LDR heeft een zekere traagheid. Brengen we een LDR van het licht in het donker, dan wordt de weerstandswaarde langzaam groter, totdat na b.v. 10 seconden de donkerweerstand wordt bereikt. Van donker naar licht gebracht treedt deze traagheid niet op.

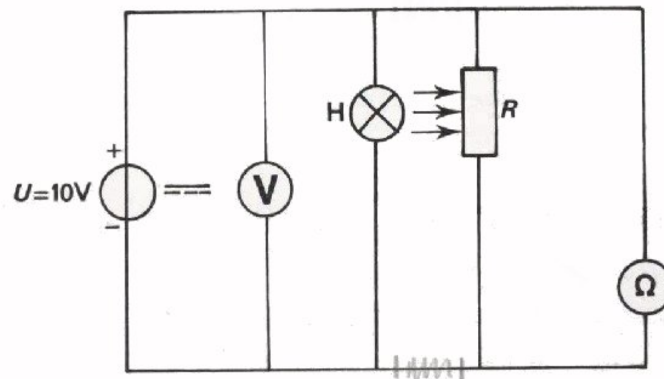
Voor een LDR wordt naaststaand schemasymbool gebruikt. Het invallend licht wordt schematisch met een paar pijltjes aangegeven.



Tenslotte moeten we nog opmerken dat het toelaatbaar vermogen bij een LDR niet zo erg hoog ligt (maximaal ongeveer 200 mW).

Aan de hand van de opdracht gaan we het gedrag van een LDR zelf ervaren.

OPDRACHT: "METING AAN EEN LDR"



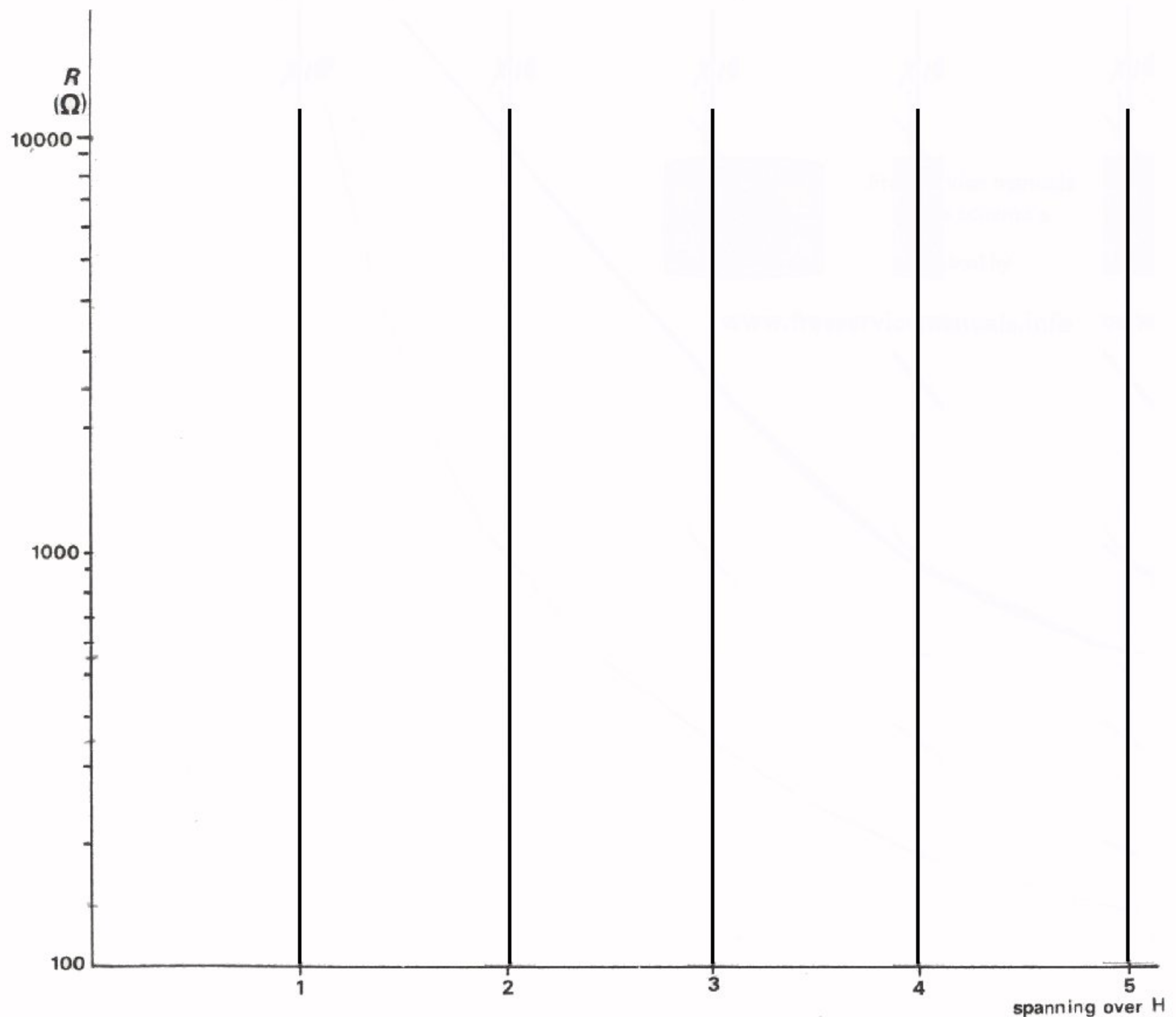
- Bouw deze schakeling op het oefenpaneel, waarbij de LDR over het lampje H wordt geschoven. De invloed van het buitenlicht op de LDR is nu vrijwel nihil.

- De lichtsterkte van het invallend licht gaan we nu regelen door de spanning over het lampje te regelen.

- Meet de weerstandswaarden van de LDR bij de 5 verschillende spanningen in de tabel. Stand van de ohmmeter: x 1 kΩ.

- Teken in het assenstelsel op het volgend blad de grafiek van de weerstandswaarde bij de verschillende spanningen.

spanning over H (V)	weerstand (Ω)
1	
2	
3	
4	
5	



CONCLUSIE

Uit deze meting blijkt dat bij toenemende lichthoeveelheid de weerstandswaarde van een LDR inderdaad afneemt.

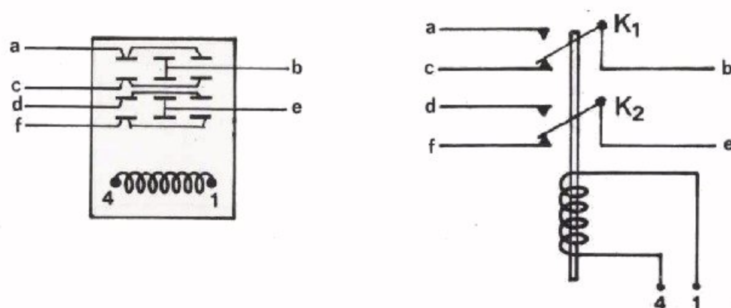
OPMERKING:

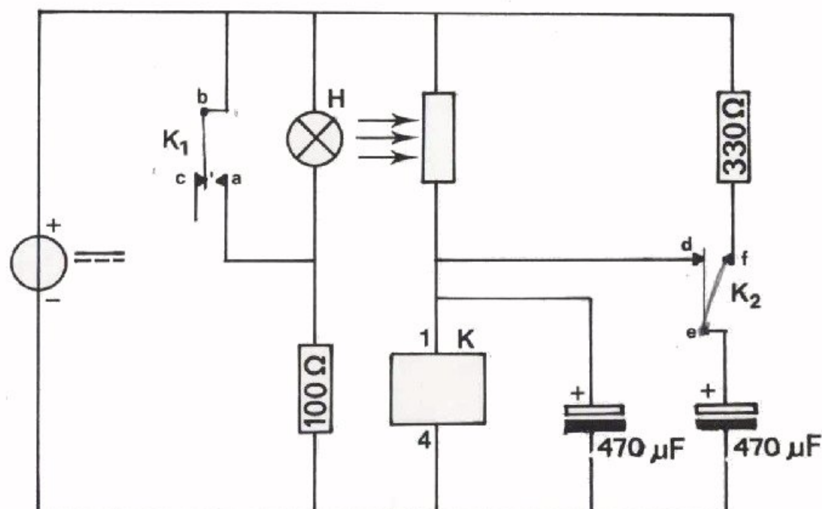
De verlichting van de LDR is niet evenredig met de spanning over H;
U krijgt dan ook geen rechte lijn voor de grafiek hierboven.

OPDRACHT: "TOEPASSING VAN EEN LDR IN EEN KNIPPERLICHTSCHAKELING"

- Bouw volgende schakeling op het paneel.

  In deze schakeling wordt weer een relais toegepast.
  De contacten K_1 en K_2 behoren beide bij het relais.
  De aansluitingen van het relais zijn als volgt:



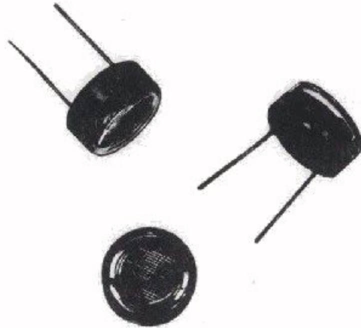


- Stel de voedingsspanning in op 13 V. De schakeling moet nu gaan werken.

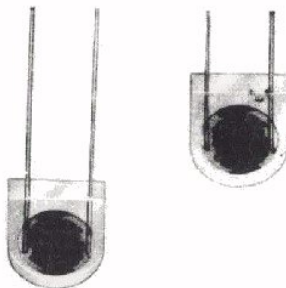
- Tracht de werking van de schakeling te verklaren, voor zover het lampje, de LDR, en het relais met K_1 betreft.

UITVOERINGSVORMEN VAN LDR's

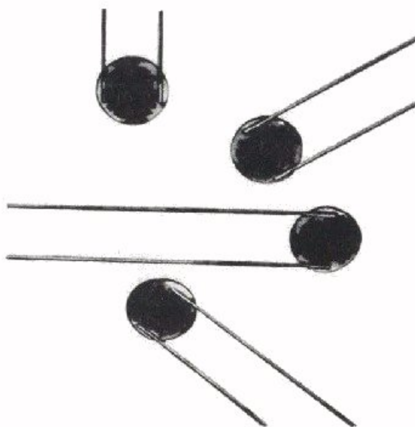
Hieronder zijn een aantal uitvoeringsvormen van LDR's afgebeeld.



LDR's gevat in een beschermkokertje.



LDR's geheel in een plastic houdertje gegoten.



LDR's voorzien van een beschermende laklaag.

TEMPERATUURAFHANKELIJKE WEERSTANDEN

Gewone weerstanden hebben een kleine temperatuurcoëfficiënt. De weerstandswaarde verandert maar weinig onder invloed van de temperatuur.
Er worden echter ook weerstanden gemaakt met een grote temperatuurcoëfficiënt. Bij deze weerstanden is de weerstandswaarde sterk afhankelijk van de temperatuur. Men noemt ze daarom: *temperatuurafhankelijke weerstanden*.

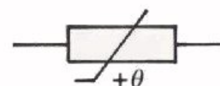
Temperatuurafhankelijke weerstanden worden gemaakt uit halfgeleidermateriaal. Men vervaardigt ze zowel met een positieve als met een negatieve temperatuurcoëfficiënt.
Weerstanden met een grote *positieve* temperatuurcoëfficiënt heten: *PTC-* (Positive Temperature Coëfficiënt-weerstanden) *weerstanden*.
Weerstanden met een grote *negatieve* temperatuurcoëfficiënt heten: *NTC-* (Negative Temperature Coëfficiënt-weerstanden) *weerstanden*.

Bij een PTC-weerstand geldt:
temperatuur *hoog* - weerstand *hoog*
temperatuur *laag* - weerstand *laag*

Bij een NTC-weerstand geldt:
temperatuur *hoog* - weerstand *laag*
temperatuur *laag* - weerstand *hoog*

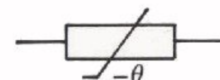
Temperatuurafhankelijke weerstanden noemt men ook wel *thermistors*.

Het schemasymbool voor een PTC-weerstand is:



Het gebruikte lettersymbool θ is de griekse letter Theta

Het schemasymbool voor een NTC-weerstand is:

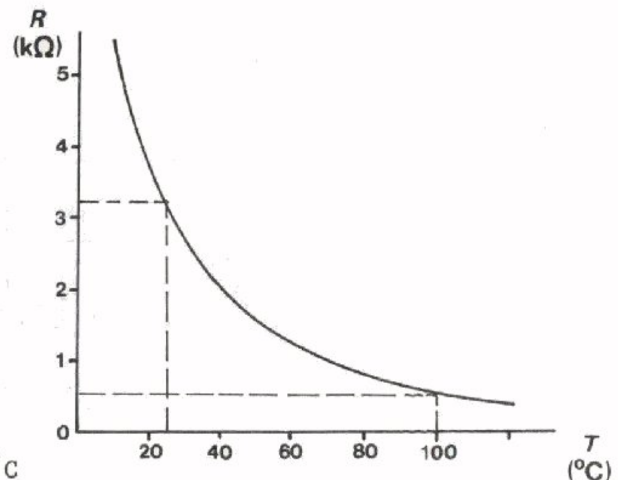


In deze les beginnen we met de behandeling van de NTC-weerstanden. In de volgende les komen de PTC-weerstanden aan de beurt.

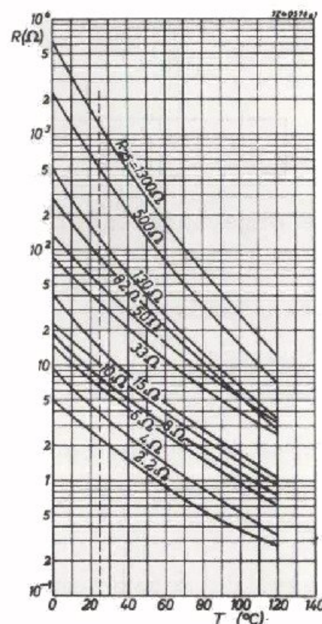
NTC-WEERSTANDEN

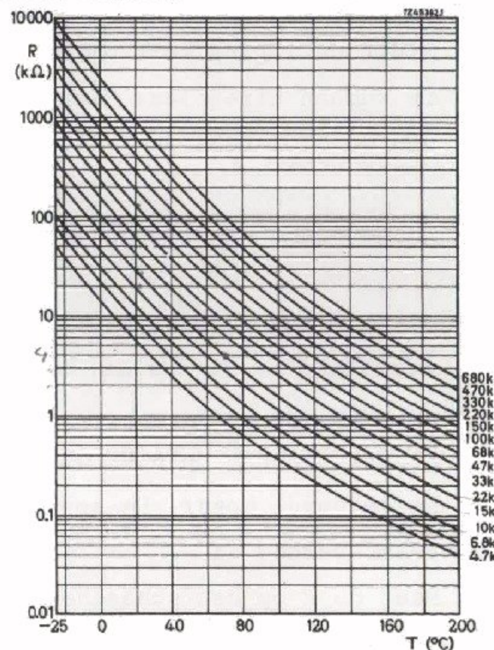
Bij een NTC-weerstand neemt de weerstandswaarde af bij toenemende temperatuur. In nevenstaande grafiek is een voorbeeld getekend van het verloop van de weerstandswaarde van een NTC-weerstand met de temperatuur.

Bij kamertemperatuur ($T = 25^0$C) is de weerstand 3,2 kΩ. Bij hogere temperaturen is de weerstandswaarde lager. Bij $T = 100^0$C bijvoorbeeld nog maar ongeveer 500 Ω.



Hieronder ziet u een tweetal voorbeelden van grafieken, zoals die voor reeksen NTC-weerstanden gepubliceerd worden.





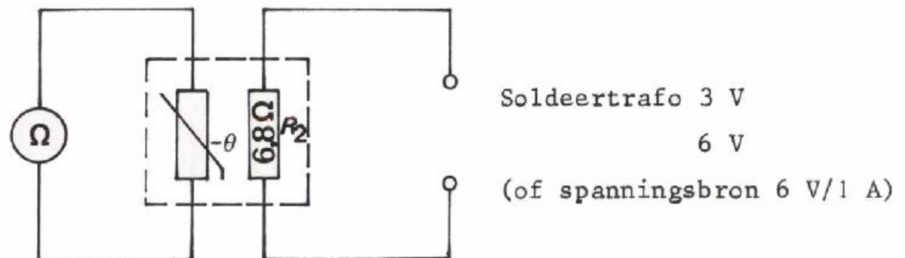
In deze grafieken is de temperatuur op een lineaire schaal uitgezet. Verticaal is een logaritmische schaal gebruikt, omdat de weerstandswaarden grote variaties doormaken. De rechts vermelde weerstandswaarden gelden voor de desbetreffende weerstanden bij 25^0C. Ga dit zelf na bij de R van 100 kΩ.

OEFENING

Hoe groot is de weerstandswaarde van de weerstand 22 kΩ (25^0C) bij 70^0C?

R =

OPDRACHT: DE INVLOED VAN DE TEMPERATUUR BIJ EEN NTC



R_2 dient voor het opwarmen van de NTC. Beide componenten zijn daarom op dezelfde steun gemonteerd. Sluit R nog niet aan.

- Stel de meter in op "x 100 Ω". Sluit de ingang kort om de meter op 0 te kunnen afregelen. Meet de weerstand van de NTC; deze is R_{NTC} =

  De gevonden weerstandswaarde geldt bij de omgevingstemperatuur.

- Sluit R aan op 3 V, wisselspanning. De weerstandswaarde van de NTC-weerstand neemt dus af. De stroom neemt dus toe.

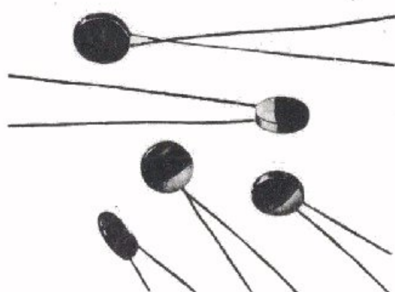
- Sluit R nu aan op 6 V, wisselspanning. De temperatuur van de NTC-weerstand wordt hoger. De spanning neemt verder af, dus de weerstandswaarde neemt verder af.
  Meet nu R op het schaalbereik "x 1 Ω". Regel de meter eerst op 0 Ω door kortsluiting van de ingangsklemmen.

  Nu is R

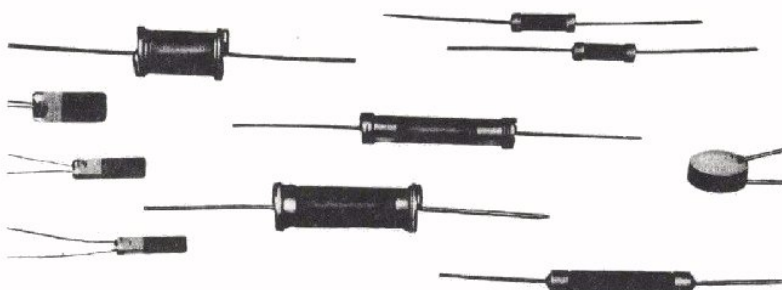
- Schakel de wisselspanning uit om de NTC weer te laten afkoelen.

UITVOERINGSVORMEN VAN NTC-WEERSTANDEN

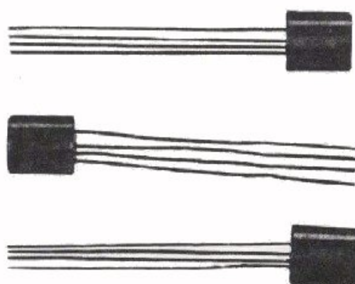
NTC-weerstanden komen in grote verscheidenheid voor. Hieronder ziet u enige uitvoeringsvormen.



Schrijftypen



Staafvormige NTC-weerstanden voor gebruik in radio- en TV-ontvangers.

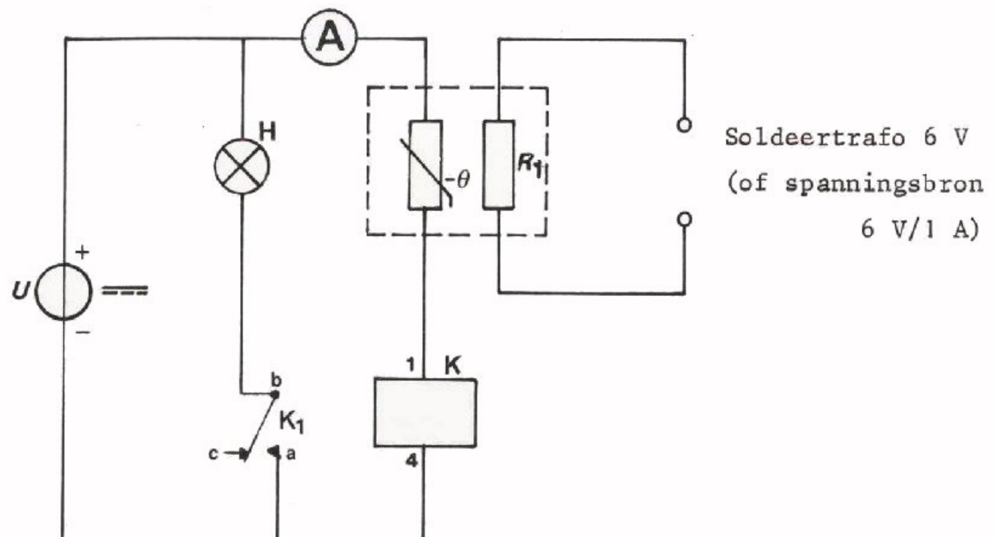


Indirect verhitte NTC-weerstanden. Vlakbij de NTC-weerstand is een verwarmingselement ingebouwd. Door elektrische stroom aan het verwarmingselement toe te voeren zal de NTC-weerstand indirect verhit worden.



NTC-weerstanden voor gebruik als thermometer.

OPDRACHT: "ALARMINSTALLATIE MET EEN NTC-WEERSTAND"



Deze schakeling wordt gebruikt bij beveiliging tegen brand. Wordt de omgevingstemperatuur te hoog, dan daalt de weerstandswaarde van de NTC-weerstand. Het relais wordt bekrachtigd en daardoor gaat het alarmlampje H branden.

- Bouw de schakeling.

- Voer een spanning U = 7 V toe. Het lampje brandt nu niet.

- Sluit R_1 aan op 6 V, wisselspanning.

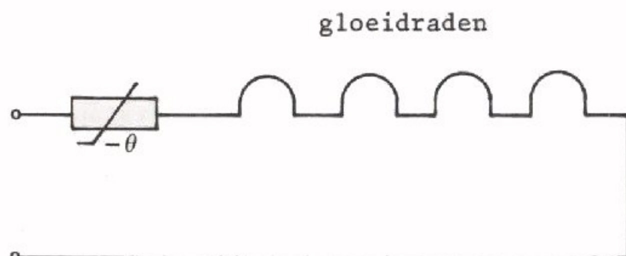
- De NTC-weerstand wordt nu opgewarmd. Na korte tijd gaat het lampje branden. Dit betekent dat de omgevingstemperatuur te hoog is geworden.

- Neem vervolgens de wisselspanning los, zodat de weerstand opnieuw kan koelen. Zodra de omgevingstemperatuur laag genoeg geworden is, dooft het lampje.

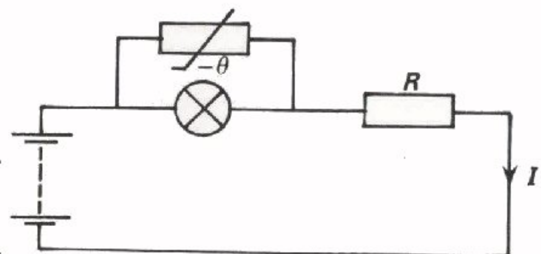
NOG ENIGE TOEPASSINGEN VAN NTC-WEERSTANDEN

In de vorige les hebben we in een opdracht gezien dat de weerstandswaarde van een NTC-weerstand bij verwarming sterk afneemt. De verhitting geschiedde van buitenaf door een verwarmingselement (weerstand) in de buurt van de NTC-weerstand.
De temperatuurstijging kan bij een NTC-weerstand ook verkregen worden door verwarming van binnenuit. Wordt de spanning over een NTC-weerstand groter, dan wordt het toegevoerde vermogen $\frac{U^2}{R}$ groter en neemt de temperatuur toe.
Hieronder volgen enige voorbeelden van toepassingen van een NTC-weerstand waarbij de verwarming van binnenuit geschiedt.

- In deze schakeling staat een NTC-weerstand in serie met een aantal gloeidraden.
Zou men de serieschakeling van de gloeidraden zonder meer op een spanning aansluiten, dan gaat er een hoge inschakelstroom lopen. De weerstand van de koude gloeidraad is namelijk maar klein. Om deze stroompiek te vermijden plaatst men een NTC-weerstand in serie met de gloeidraden. In koude toestand heeft een NTC-weerstand een grote weerstandswaarde, zodat er geen grote stroom door de serieschakeling kan lopen. De stroom verwarmt de NTC-weerstand, zodat zijn weerstandswaarde na enige tijd daalt.
De schakeling is zó uitgekiend, dat door de gloeidraden dan de juiste stroom loopt.



- In deze schakeling bevindt zich een lampje. Parallel aan het lampje staat een NTC-weerstand met een hoge weerstandswaarde. Brandt het lampje nu dóór of trilt het los, dan blijft er via de NTC-weerstand stroom door de schakeling lopen. Deze stroom verwarmt de NTC-weerstand waardoor zijn waarde daalt. Na korte tijd loopt er weer de oorspronkelijke stroom I door de schakeling, ook al brandt het lampje nu niet meer.



SAMENVATTING

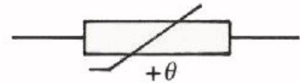
- Een LDR (Light Dependent Resistor) is een weerstand waarvan de weerstandswaarde afneemt als er licht opvalt.

- Het schemasymbool voor een LDR is:

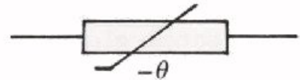


- Een NTC-weerstand is een weerstand met een grote negatieve temperatuurcoëfficiënt. Bij toename van de temperatuur neemt de weerstandswaarde **sterk af**.

- Het schemasymbool voor een PTC-weerstand is:



Dat voor een NTC-weerstand is:

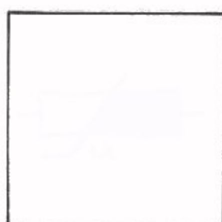
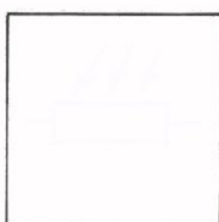
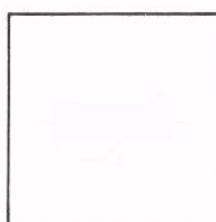
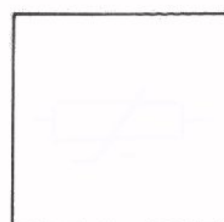


- Temperatuur-afhankelijke weerstanden noemt men ook wel *thermistors*.

NAAM: ______ KLAS: ______

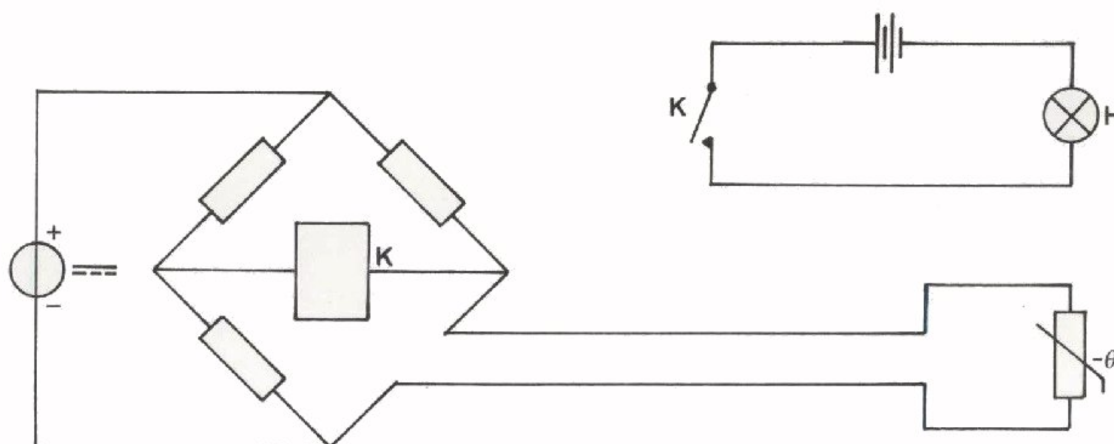
OEFENINGEN

1. Teken het symbool van een VDR, LDR, PTC, en NTC-weerstand.

VDR LDR PTC-weerstand NTC-weerstand

2.



Hier ziet u een brug van Wheatstone met een NTC-weerstand. Bij kamertemperatuur is de brug in evenwicht. In de brugtak is een relais opgenomen. Geef in enige woorden duidelijk weer wat er gebeurt als de temperatuur flink toeneemt.

Antwoord: ______

Reageert de schakeling net zo als de temperatuur flink afneemt?



B104

B I J Z O N D E R E   W E E R S T A N D E N

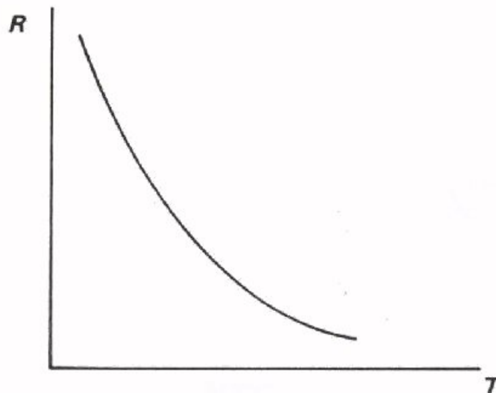
D E   P T C - W E E R S T A N D

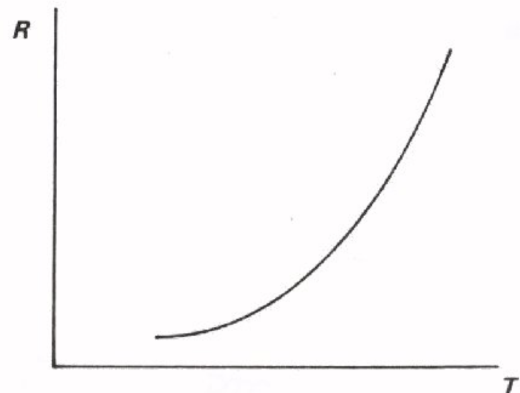
INLEIDING

We hebben ons in de vorige lessen bezig gehouden met bijzondere weerstanden. We hebben het gehad over de VDR, een weerstand waarvan de waarde afhangt van de spanning. In de laatste les is de LDR behandeld. Dat is een weerstand waarvan de waarde verandert onder invloed van het licht. Ook is de NTC-weerstand aan de orde geweest. Dit is een weerstand waarvan de waarde verandert onder invloed van de temperatuur. Zoals de naam zegt heeft dit soort weerstanden een negatieve temperatuurcoëfficiënt. Bij stijgende temperatuur daalt de waarde van de weerstand sterk.
Daarnaast worden weerstanden met een grote positieve temperatuurcoëfficiënt toegepast. Deze zogenaamde PTC-weerstanden komen nu ter sprake.

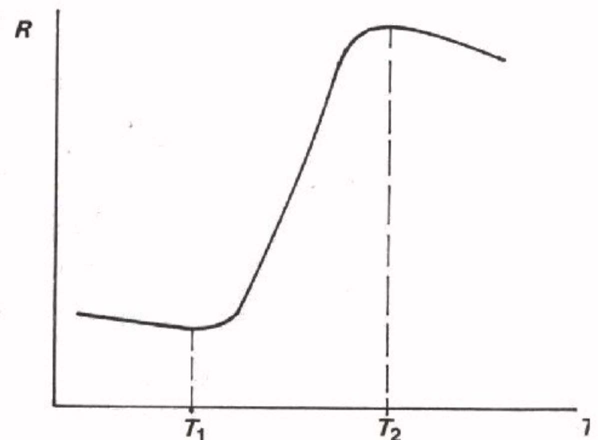
PTC-WEERSTANDEN

PTC-weerstanden behoren samen met de NTC-weerstanden tot de temperatuur-afhankelijke weerstanden. In tegenstelling tot de NTC-weerstanden hebben PTC-weerstanden een positieve temperatuurcoëfficiënt. Dit wil zeggen dat de weerstandswaarde van een PTC-weerstand sterk toeneemt bij stijgende temperatuur.
Volgende figuren tonen grafisch het gedrag van de NTC- en de PTC-weerstand.



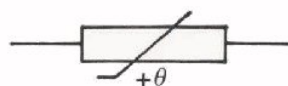


Een volledige grafiek van een PTC-weerstand ziet er minder eenvoudig uit dan hier boven werd voorgesteld.
Zo'n volledige grafiek ziet u hiernaast. Uit de grafiek blijkt dat de temperatuurcoëfficiënt slechts in een beperkt gebied positief is, namelijk tussen de temperaturen T_1 en T_2. Beneden T_1 is de temperatuur-coëfficiënt negatief; dit is ook het geval bij temperaturen boven T_2.



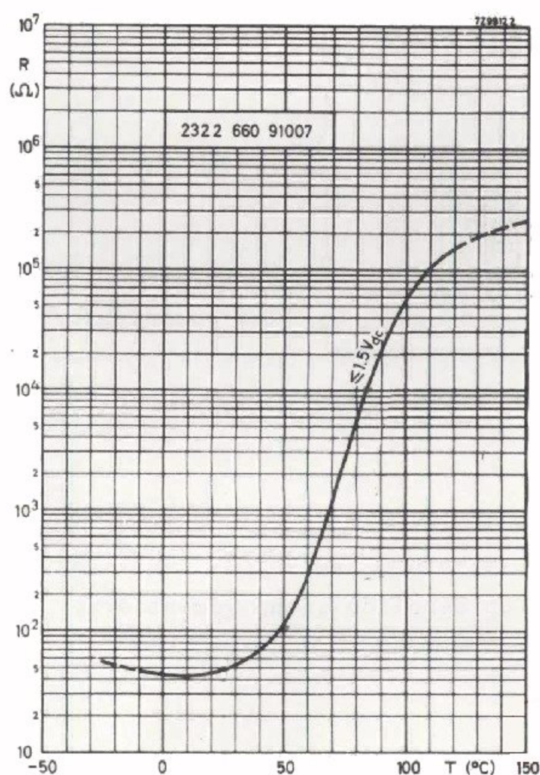
Het werkgebied van de PTC-weerstand ligt tussen de twee knikpunten van de karakteristiek.

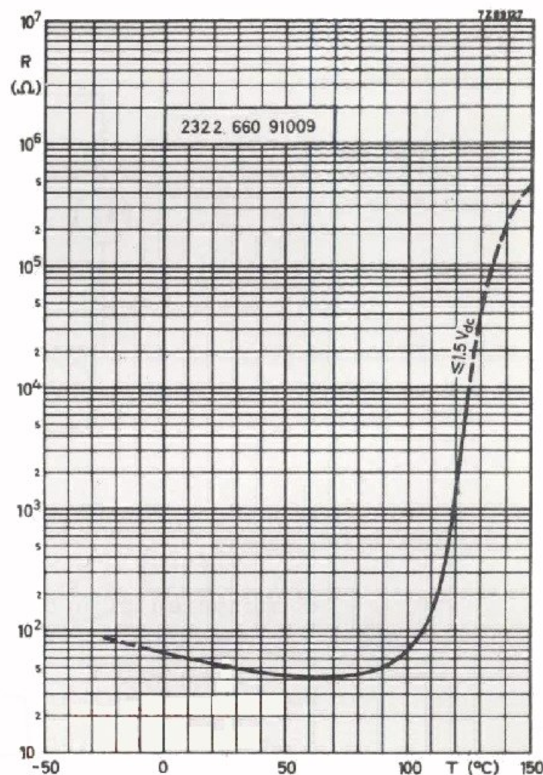
PTC-weerstanden worden aangegeven met volgend schemasymbool.



OEFENING

Hieronder ziet u de karakteristieken van twee verschillende PTC-weerstanden.





- Bepaal bij beide grafieken de weerstandswaarde bij 25°C.

R_{25} = ☐ R_{25} = ☐

- Bepaal ook de kleinste weerstandswaarde die in de grafieken voorkomt.

R_{min} = ☐ R_{min} = ☐

- Geef voor beide gevallen het temperatuurverloop dat nodig is om de weerstand te veranderen van 100 Ω tot 10 kΩ.

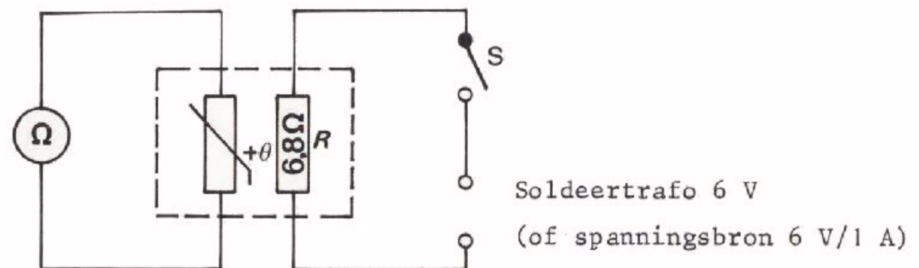
Linkse grafiek

T_1 = ☐ T_2 = ☐

Rechtse grafiek

T_1 = ☐ T_2 = ☐

OPDRACHT: "DE INVLOED VAN DE TEMPERATUUR OP EEN PTC-WEERSTAND"



- Bouw deze schakeling.
  De weerstand *R* dient voor het verwarmen van de PTC-weerstand. Beide componenten zijn tegen elkaar op dezelfde steun gemonteerd.

- Houd de schakelaar S open.
  Meet de PTC-weerstand.

  R_{PTC} = [ ]

- Sluit de schakelaar S. De PTC-weerstand wordt nu langzaam verwarmd. Let op de uitslag van de ohmmeter. Deze neemt eerst af en daarna sterk toe.

- Bepaal de weerstandswaarde van de PTC-weerstand na ongeveer 3 minuten verwarmen.

  R_{PTC} = [ ]

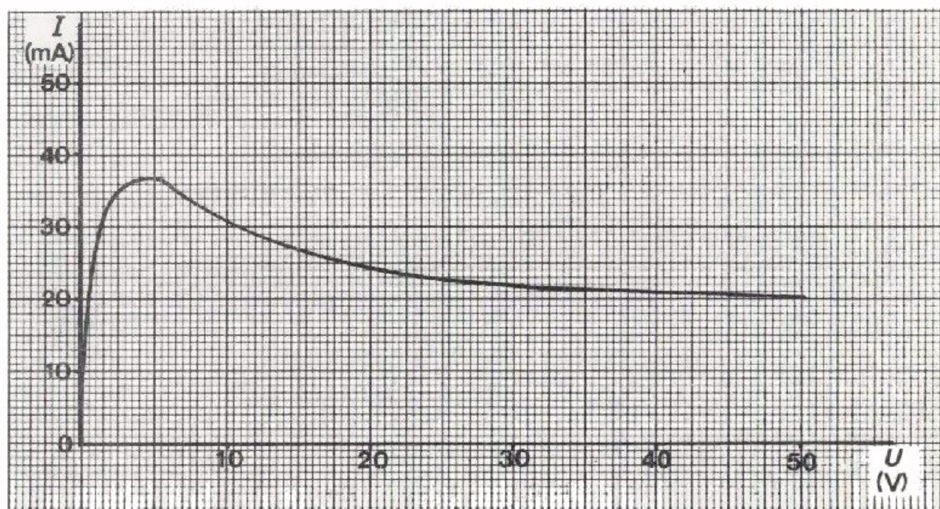
De meting leert ons dat bij temperatuurstijging de weerstandswaarde aanvankelijk daalt en daarna sterk stijgt. Dit is geheel in overeenstemming met de karakteristieken van het vorige blad. Ga dit na.

- Breek de schakeling af.

DE STROOM-SPANNING-KARAKTERISTIEK VAN EEN PTC-WEERSTAND

In de vorige opdracht zagen we de invloed van de omgevingstemperatuur op de weerstandswaarde van een PTC-weerstand. Laten we de omgevingstemperatuur toenemen, dan neemt de weerstandswaarde aanvankelijk af en daarna sterk toe.

Als we een flink elektrisch vermogen aan een PTC-weerstand toevoeren, dan wordt hij daardoor van binnenuit verhit. Voor dit geval is de stroom-spanning-karakteristiek van belang. De *I*-*U*-karakteristiek ziet er als volgt uit:



Uit de grafiek zien we dat er tussen *I* en *U* een niet-lineair verband bestaat. Bij kleine spanningen neemt de stroom aanvankelijk toe. Door de stroom wordt de PTC-weerstand verwarmd. Vanaf ongeveer 5 V gaat zijn weerstandswaarde zó sterk toenemen, dat de stroom af gaat nemen.

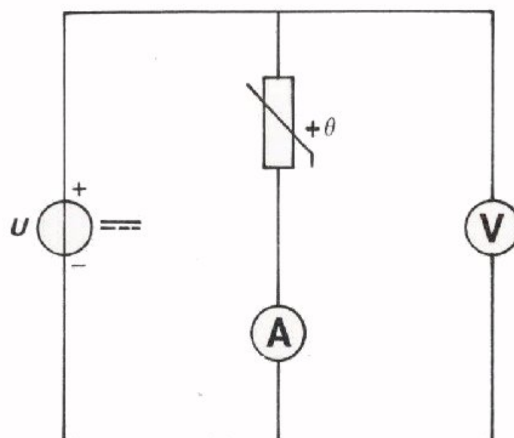
De weerstandstoename begrenst de toename van de stroom. De stroom wordt namelijk niet groter dan 37 mA.

Een PTC-weerstand heeft dus de eigenschap om de stroom te *begrenzen*. Uit de grafiek zien we verder dat tussen 20 V en 50 V de stroom vrijwel constant blijft. In dit spanningsgebied heeft een PTC-weerstand dus een *stroomstabiliserende* invloed.

CONCLUSIE

Uit de stroom-spanning-karakteristiek blijkt dat men met behulp van een PTC-weerstand de stroom kan: 1. begrenzen,
2. stabiliseren.

OPDRACHT: "METEN VAN DE *I*-*U*-KARAKTERISTIEK VAN EEN PTC-WEERSTAND"



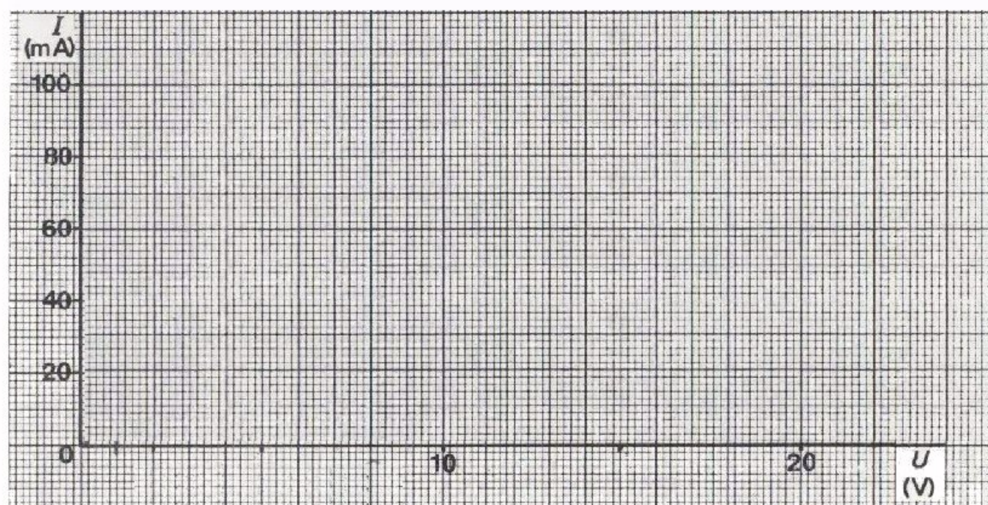
- Bouw deze schakeling.

- Meet de stroom bij volgende waarden van de spanning.

U (V)	*I* (mA)
1	
2	
3	
3,5	
4	
4,5	
5	
5,5	
6	
7	
8	
10	
20	

- Breek de schakeling af.

- Teken in onderstaande grafiek de I-U-karakteristiek aan de hand van de waarden uit voorafgaande tabel.



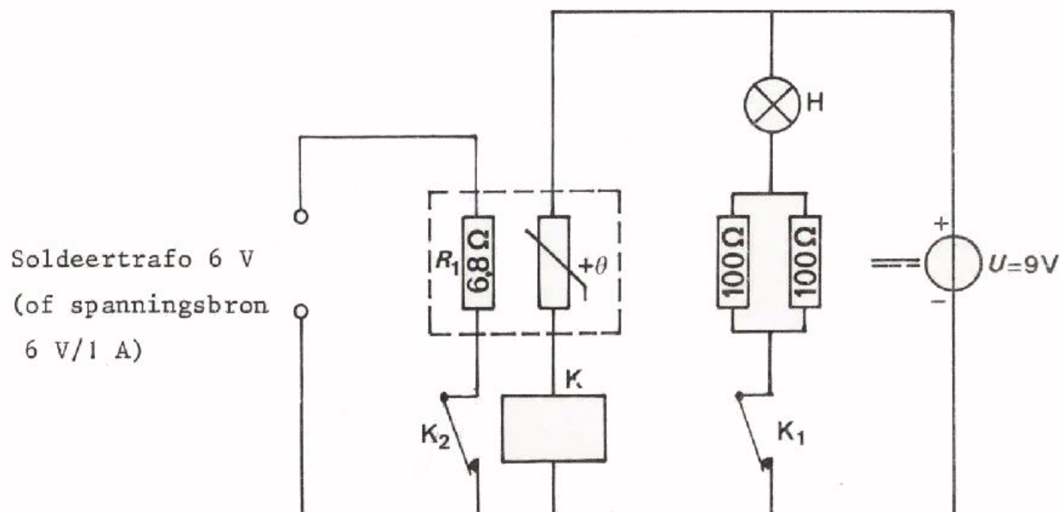
- Bij welke waarde van de spanning is de stroom maximaal?

U =

- Hoe groot is dan de stroom?

I_{MAX} =

OPDRACHT: EEN TEMPERATUURREGELING MET EEN PTC-WEERSTAND



- Bouw deze schakeling.

- Sluit R_1 aan op de soldeertrafo of een andere wisselspanningsbron van 6 V, wacht enige tijd en kijk wat er gebeurt.

Tussen welke grenzen varieert de stroom door de PTC?

I_{min} = ☐ I_{max} = ☐

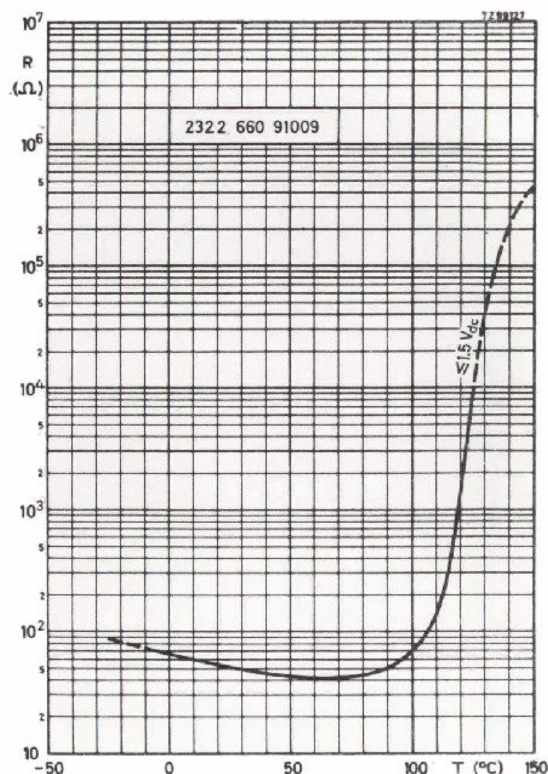
Tussen welke waarden varieert de weerstand van de PTC?

(R_{relais} = **350** Ω)

R_{min} = ☐ R_{max} = ☐

Tussen welke grenzen varieert de temperatuur?

T_{min} = ☐ T_{max} = ☐



TOEPASSING VAN PTC-WEERSTANDEN

De toepassingen van PTC-weerstanden berusten op de eigenschap dat hun weerstandswaarde afhankelijk is van de temperatuur. Daarbij zijn twee gevallen te onderscheiden.

- De temperatuur van de PTC-weerstand verandert van buitenaf; de omgevingstemperatuur verandert.
- De temperatuur van de PTC-weerstand verandert van binnenuit; doordat er elektrisch vermogen aan de PTC-weerstand wordt toegevoerd.

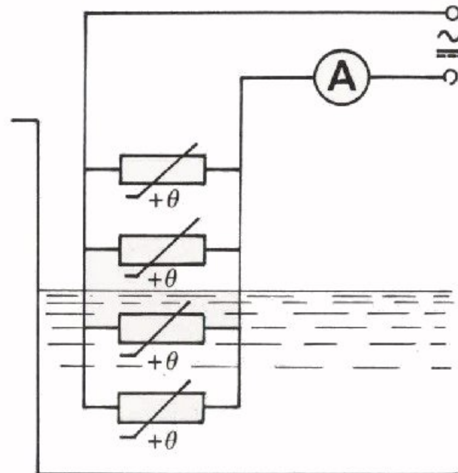
Van elk van deze gevallen geven we nog eens een voorbeeld.

- Beveiliging van elektromotoren tegen "oververhitting als gevolg van overbelasting".

In een elektromotor worden op een aantal plaatsen PTC-weerstanden aangebracht. Deze staan in serie en zijn aangesloten op een voedingskast. In deze kast wordt de stroom door de PTC-weerstanden voortdurend gemeten. Wordt één van de PTC-weerstanden verwarmd, dan neemt zijn weerstandswaarde sterk toe en de stroom dus sterk af. In de kast is een schakeling opgenomen die er voor zorgt dat dan de motor wordt uitgeschakeld.
Op deze manier wordt de elektromotor dus beveiligd tegen oververhitting.

- Meting van een vloeistofniveau.

In het vorige voorbeeld werd de PTC-weerstand van buitenaf verwarmd. In dit voorbeeld geschiedt de verwarming van binnenuit.



In een tank met vloeistof zijn op verschillende hoogten PTC-weerstanden gemonteerd. Vanuit een voedingsbron wordt een stroom door de PTC-weerstanden gestuurd. Is er geen vloeistof in de tank aanwezig, dan verwarmt de stroom alle PTC-weerstanden en krijgen zij een hoge weerstandswaarde. Bevindt er zich wél vloeistof in de tank, dan worden die PTC-weerstanden die zich in de vloeistof bevinden gekoeld. Daardoor is de weerstandswaarde van deze PTC-weerstanden laag. De grootte van de stroom in de schakeling neemt toe naarmate er meer PTC-weerstanden ondergedompeld zijn. De stroom is zodoende een maat voor de hoogte van het vloeistofniveau in de tank.

UITVOERINGSVORMEN VAN PTC-WEERSTANDEN

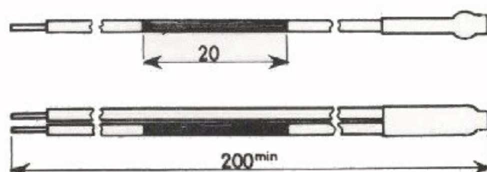
Hieronder ziet u enige afbeeldingen van PTC-weerstanden.



Schijfvormige.
Deze worden o.a. toegepast in schakelingen voor stroombegrenzing.



Cilindervormige.
Deze worden gebruikt voor het **meten van vloeistofniveaus.**



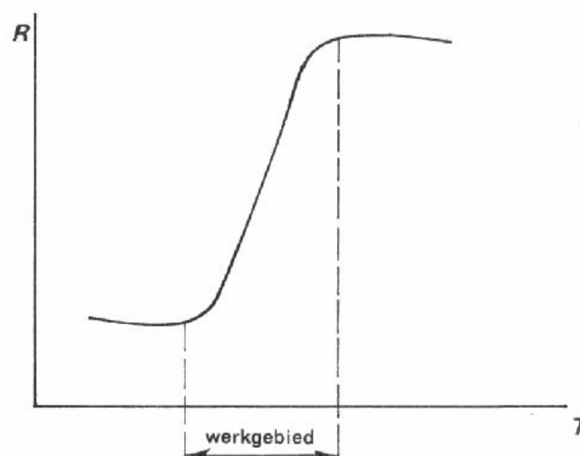
Staafvormige.
Worden gebruikt ter beveiliging van elektromotoren tegen oververhitting.

SAMENVATTING

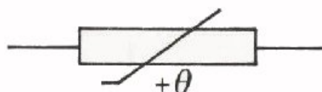
- Een PTC-weerstand heeft een grote positieve temperatuurcoëfficiënt. Bij stijgende temperatuur neemt zijn weerstandswaarde sterk toe.

- Het verloop van de weerstand met de temperatuur is als volgt:

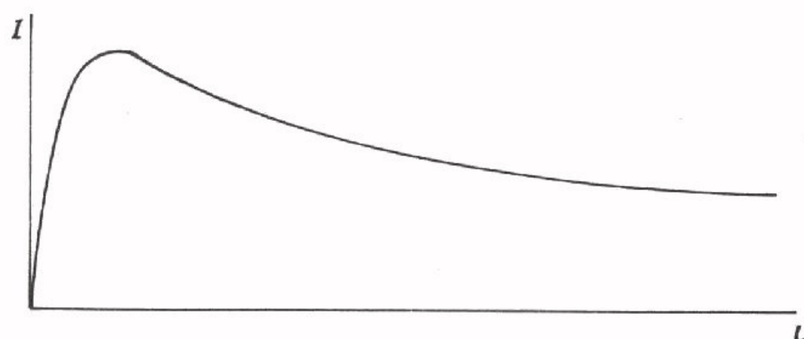
  Hieruit blijkt dat de temperatuur slechts in een beperkt gebied positief is. PTC-weerstanden worden in dit gebied, het werkgebied, gebruikt.



- Het symbool voor de PTC-weerstand is:



- De stroom-spanning-karakteristiek van een PTC-weerstand:



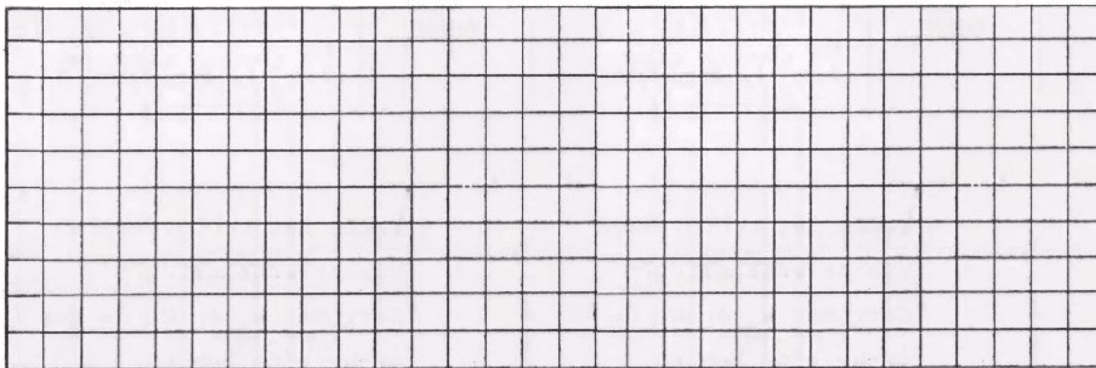
  Hieruit volgt dat men met een PTC-weerstand de stroom kan begrenzen en stabiliseren.

- Bij toepassingen van PTC-weerstanden kan de temperatuur van buitenaf veranderen doordat de omgevingstemperatuur verandert. Hij kan ook van binnenuit veranderen doordat er elektrisch vermogen aan de PTC-weerstand wordt toegevoerd.

NAAM: ______ KLAS: ______

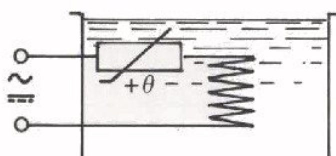
OEFENINGEN

1. Teken het symbool voor een PTC-weerstand:



2. Hoe groot is de weerstandswaarde van de PTC-weerstand nummer 2322 660 91009 bij een temperatuur van 120°C. Gebruik de grafiek van blad B104.3.

$R_{120} \approx$ ______

3. 

Hier is de toepassing van een PTC-weerstand bij de verwarming van bijvoorbeeld een waterreservoir gegeven. Tracht hieronder de werking van de schakeling te verklaren.

4. Hier is de schakeling getekend die men kan toepassen voor de verlichting in het trappenhuis van een flatgebouw. Door op de knop te drukken gaat de lamp branden. Na enige tijd gaat hij weer uit. Tracht hieronder de werking te verklaren.

Tip: Sla blad B104.9 er nog eens op na.

B 105

HERHALING

In de voorafgaande vier lessen zijn de gewone weerstanden en een aantal bijzondere weerstanden behandeld. In deze les herhalen we dit nog eens in grote lijn. In de volgende les volgt dan een test.

Enkele tips:

- Werk deze herhalingsles grondig door.
- Bestudeer de samenvattingen van de voorafgaande lessen nog eens goed.
- Als bepaalde dingen u nog niet duidelijk zijn, vraag uw leeraar dan om nadere uitleg.

ALGEMENE EIGENSCHAPPEN VAN WEERSTANDEN

Bij de gewone weerstanden zijn de volgende eigenschappen van belang:

- De *temperatuurafhankelijkheid.*
  Men wil als regel dat de weerstandswaarde zeer weinig afhangt van de temperatuur. Men tracht daarom weerstanden te fabriceren met een zo klein mogelijke temperatuurcoëfficiënt.

- De *frequentie-afhankelijkheid.*
  Men wil meestal dat weerstandswaarden slechts in geringe mate door de frequentie worden beïnvloed. Men tracht daarom parasitaire zelfinductie en capaciteit klein te houden.

- De *stabiliteit.*
  Bij langdurig gebruik kan de waarde van een weerstand veranderen. Worden de afwijkingen van de oorspronkelijke waarde groot, dan heeft een weerstand een slechte stabiliteit.

- De *ruis.*
  Tengevolge van onregelmatige elektronenbewegingen ontstaan tussen de uiteinden van een weerstand kleine variaties in de spanning. Dit verschijnsel heet "ruis". Voor sommige toepassingen kan dit hinderlijk zijn.

- Het *maximaal toelaatbare vermogen.*
  Aan een weerstand mag men maar een beperkt vermogen toevoeren, omdat hij anders te heet wordt en zelfs defect kan raken. Het maximaal toelaatbare vermogen hangt voornamelijk af van de afmetingen van de weerstand.

- De *maximaal toelaatbare spanning t.o.v. de omgeving.*
  Ook deze is beperkt. Wordt deze overschreden dan slaan er vonken over naar de omgeving.

OEFENINGEN

1. In een draaispoelinstrument bevindt zich het van koperdraad gewikkelde spoeltje. Als men stroom toevoert wordt het spoeltje warmer door de inwendige warmte-ontwikkeling. Daardoor neemt de weerstand van het spoeltje

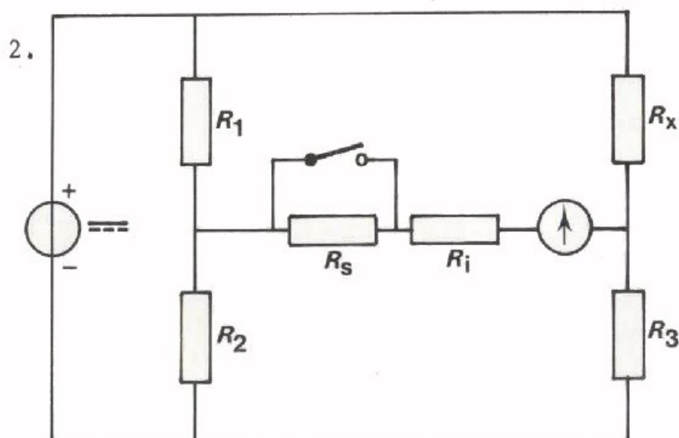
   af/toe

   Door met het spoeltje een kleine weerstand van weerstanddraad in serie te schakelen, kan men de inwendige weerstand van de meter onafhankelijk van de temperatuur maken. Het weerstanddraad moet daartoe een

   positieve/negatieve

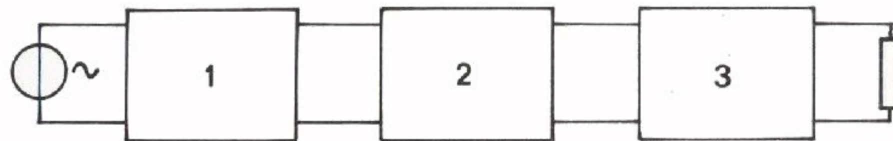
   temperatuurcoëfficiënt hebben.

2.



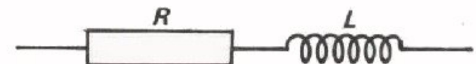
Voor het meten van R_x komen vijf andere weerstanden voor: R_1, R_2, R_s, R_i en R_3: Voor welke van deze weerstanden is een goede stabiliteit van groot belang?

3. Een versterker is samengesteld uit drie gelijke versterktrappen. In elke versterktrap komen weerstanden voor. Bij welke versterkertrap moet men weerstanden vermijden die veel ruis veroorzaken?



De [ ] trap

4. Een draadgewonden weerstand heeft parasitaire zelfinductie en capaciteit. Laten we eens aannemen dat de ohmse weerstand R = 1000 Ω en de parasitaire L = 1 mH. We zien af van de parasitaire capaciteit.



Hoe groot is de wisselstroomweerstand bij 1 kHz?

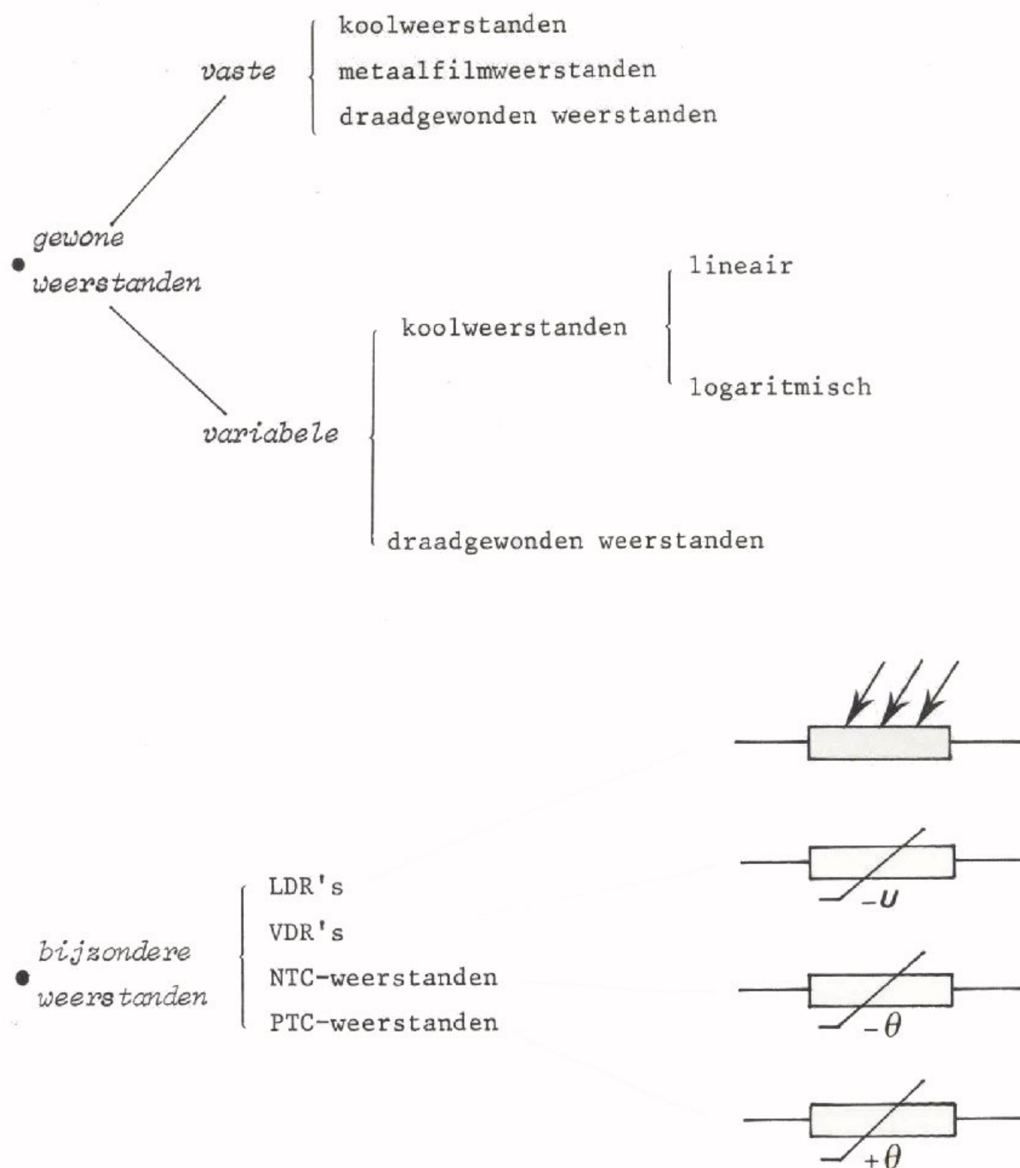
Z = [ ] kΩ

Hoe groot is de impedantie bij 1 MHz?

Z = [ ] kΩ

SOORTEN WEERSTANDEN

We geven hier een kort overzicht van de verschillende soorten weerstanden die zijn besproken.



Op volgende bladen geven we van de diverse weerstanden enkele eigenschappen. Dit wordt afgewisseld door een aantal oefeningen. Leg bij de bestudering van een blad theorie dit blad er telkens naast.

GEWONE WEERSTANDEN

We hebben drie soorten gewone vaste weerstanden besproken. De *goedkoopste* zijn de koolweerstanden. De koolweerstanden zijn dan ook verreweg de meest gebruikte. Alleen als men bijzondere eisen stelt aan bijvoorbeeld nauwkeurigheid of stabiliteit gebruikt men een ander soort weerstanden. Voor zeer hoge weerstandswaarden (boven 1 MΩ) staan alleen koolweerstanden ter beschikking.

De grootste *precisie* hebben de metaalfilmweerstanden. Daarbij heeft men uitvoeringen met een nauwkeurigheid van 2% en 1%; en met een nauwkeurigheid van 1% tot en met 0,1%.

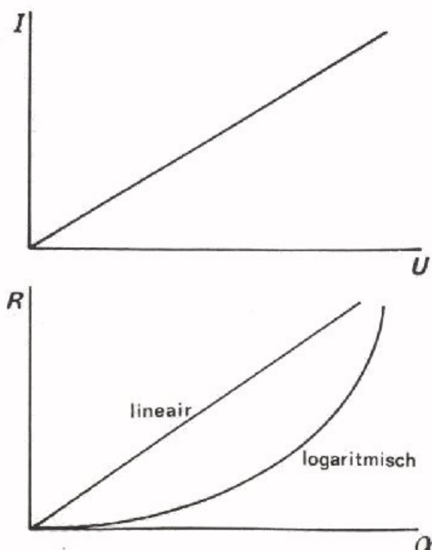
De draadgewonden weerstanden zijn bestemd voor grotere *vermogens* tot wel 250 W toe, terwijl koolweerstanden en metaalfilmweerstanden hoogstens tot 2 W gemaakt worden.
Er bestaan ook precisie-draadgewonden weerstanden tot op 0,25%. Deze laatste echter slechts voor kleine vermogens.

GEWONE VARIABELE WEERSTANDEN

Variabele koolweerstanden bestaan alleen voor kleine *vermogens*. De variabele draadgewonden weerstanden zijn tot zeer hoge vermogens (100 W) verkrijgbaar.
De weerstandswaarde van variabele koolweerstanden kan groot zijn, tot enkele MΩ; die van variabele draadgewonden weerstanden is minder hoog, tot ongeveer 50 kΩ.

WEERSTANDSGRAFIEKEN

Eigenschappen van weerstanden kunnen overzichtelijk weergegeven worden in grafieken.



Dit is de stroom-spanningskarakteristiek van een gewone weerstand.

Dit is de grafiek van de weerstandswaarde tegen de draaiïngshoek α voor een lineaire, resp. een logaritmische, variabele weerstand.

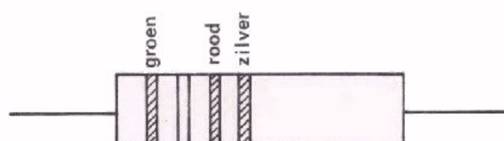
OEFENINGEN

1. Op een weerstand staat 5361B.
   Welk type codering is dit?

   Hoe groot is de weerstandswaarde?

   Hoe groot is de tolerantie?

2. In een schakeling moet een koolweerstand vervangen worden. De weerstand is voorzien van een kleurcodering. De kleur van de tweede ring is niet goed meer te herkennen. De wel te herkennen kleuren zijn:



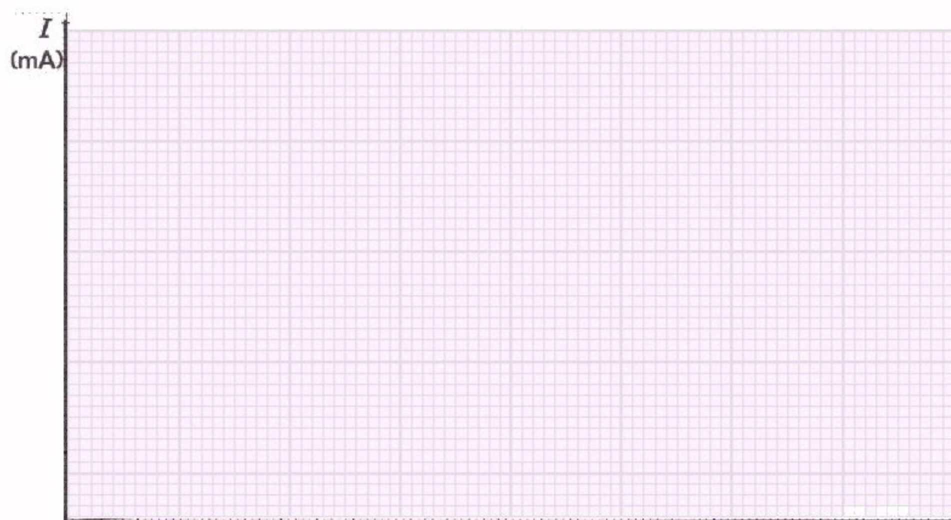
Hoe groot dient de vervangingsweerstand te zijn?

R =

3. In een schakeling vloeit door een weerstand van 10 kΩ maximaal een gelijkstroom van 10 mA. Kies uit onderstaand lijstje een geschikte weerstand met minimale afmetingen.

   CR 25
   CR 52
   CR 68
   CR 93

   u kiest weerstand



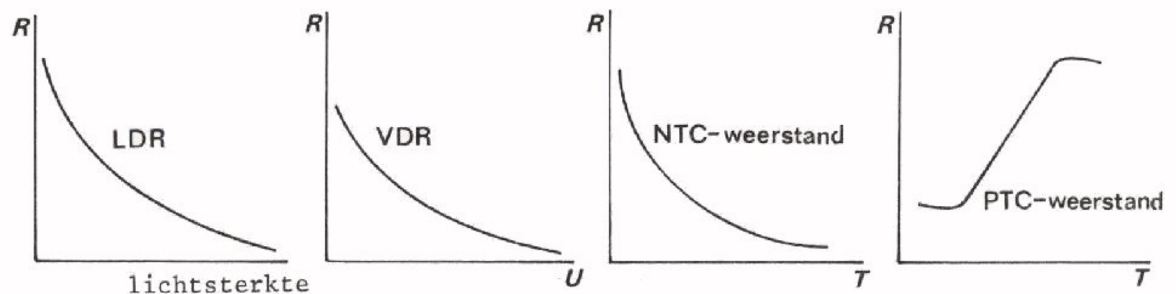
Teken hiernaast in één figuur de grafiek van een weerstand van 1 kΩ en die van een weerstand van 24 kΩ.

BIJZONDERE WEERSTANDEN

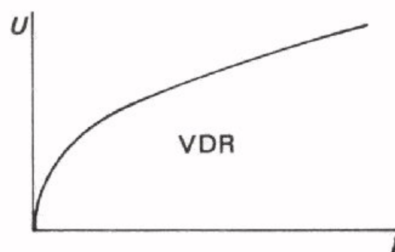
Bij de bijzondere weerstanden is de weerstandswaarde *sterk* afhankelijk van een bepaalde grootheid:

bij LDR's van het *licht*
bij VDR's van de *spanning*
bij NTC-weerstanden van de *temperatuur*
bij PTC-weerstanden ook van de *temperatuur*.

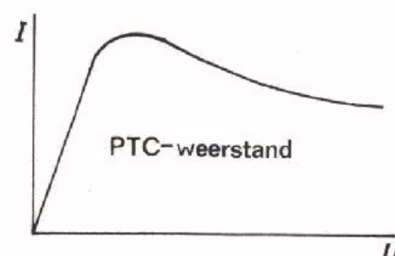
Dit komt goed tot uiting in onderstaande grafieken:



Twee van deze weerstandsoorten hebben een *begrenzende* werking, die men kan zien aan de grafieken waarin *U* en *I* zijn uitgezet:



De VDR werkt *spannings*-begrenzend.
In het begrenzingsgebied kan de *I* sterk veranderen zonder dat de spanning veel verandert.



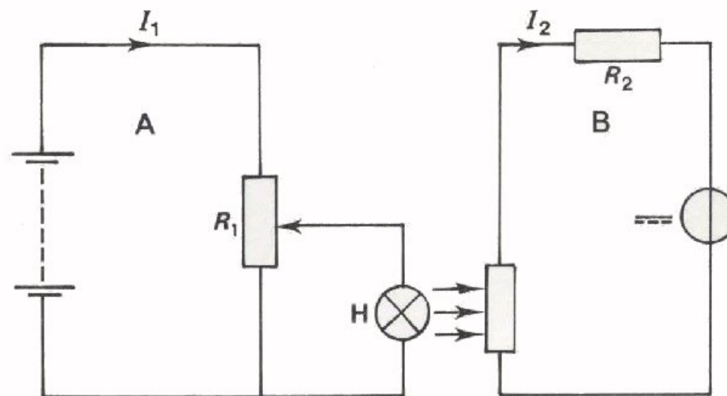
De PTC werkt *stroom*-begrenzend.
In het begrenzingsgebied kan de *U* sterk variëren zonder dat de *I* veel verandert.

De NTC-weerstand zowel als de PTC-weerstand

- reageren op veranderingen van de omgevingstemperatuur.
- reageren op temperatuurstijging door eigen inwendige verhitting.

OEFENINGEN

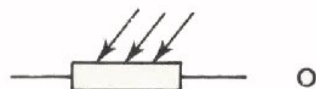
1. De elektrische circuits A en B zijn van elkaar gescheiden. Met R_1 kan men toch de grootte van I_2 regelen.

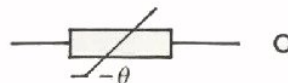


Verklaar in enkele woorden de werking van deze schakeling.

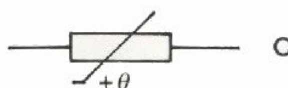
2. Deze stroommeter is beveiligd tegen het optreden van te hoge stromen door er een component mee in serie te schakelen. Welke van de volgende componenten kan dit zijn?



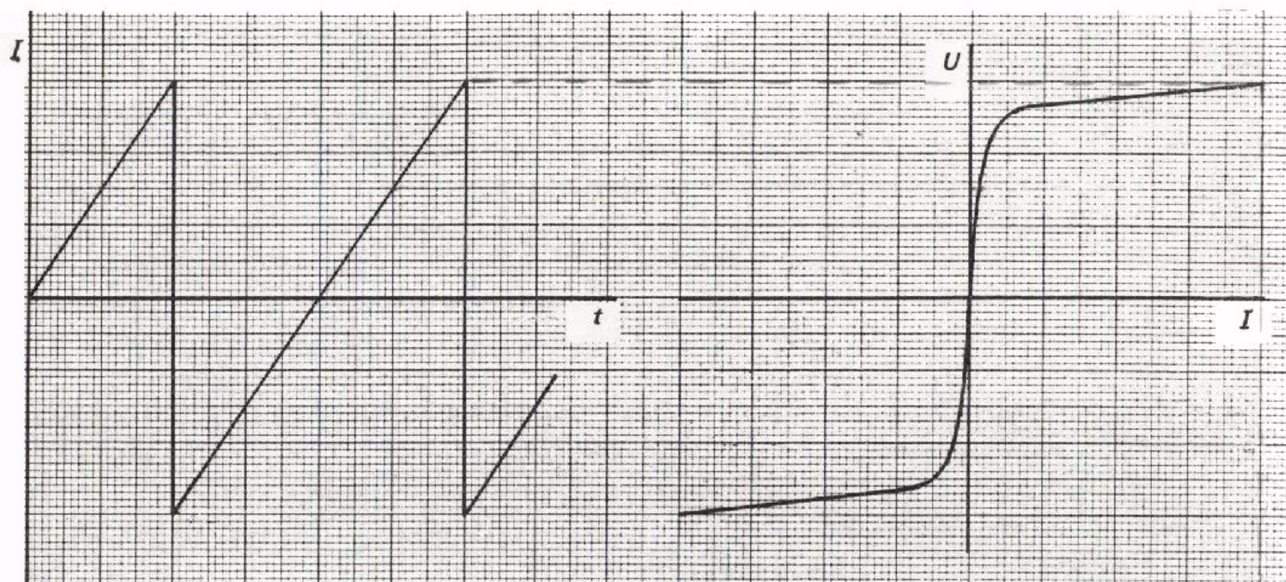
 o

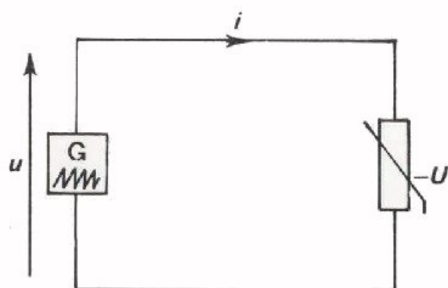
 o

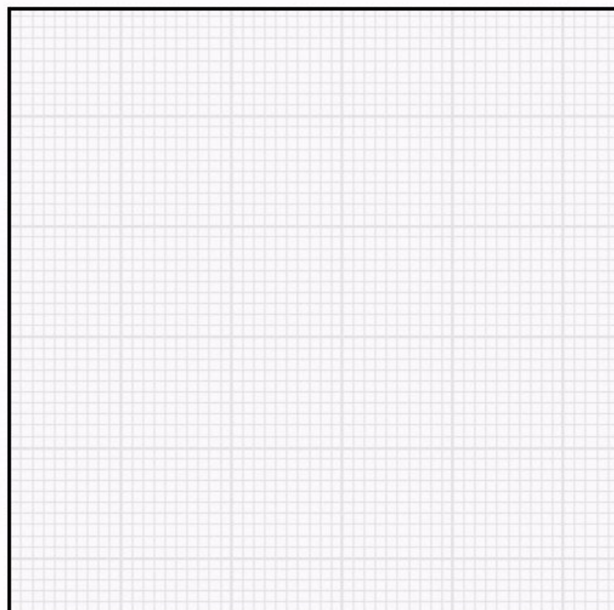
 o

 o

3. Aan een VDR voert men de getekende zaagtandspanning u toe. Construeer de grafiek van de stroom i die gaat lopen.







4. In een vloeistoftank wil men de hoogte van de vloeistof constant houden. Zonodig wordt met een pomp de vloeistof aangevuld. Onderstaande schakeling houdt de vloeistof op constant peil. Verklaar de werking van de schakeling met enige woorden. Opmerking: Het relais is getekend in rusttoestand.

R_1

R_2

R_3

K

K_1

Luchttemperatuur 20 °C

vloeistofniveau

θ

Vloeistoftemperatuur 10 °C

pomp

tank

voorraadtank

5. Onderstaande vragen moet u beantwoorden door achter iedere vraag een van de volgende antwoorden te geven:

- koolweerstand(en)
- metaalfilmweerstand(en)
- draadgewonden weerstand(en)

Gebruik de tabellen op blad 13 t/m 16.

Stel, u hebt een weerstand nodig van:	u neemt hiervoor:
1,8 MΩ ± 10%, 1 W	
1K2 ± 5%, 5 W	
1,5 kΩ ± 0,1%, 0,3 W	
67,3 kΩ ± 0,5%, 0,5 W	
1,13 Ω ± 0,25%, 0,2 W	
0,51 Ω ± 10%, 1 W	
250 Ω ± 0,5%, 1 W	
3,02 Ω ± 0,1%, 0,5 W	
Bij welk type weerstand komt de hoogste weerstandswaarde voor?	
Waarbij komt de laagste weerstandswaarde voor?	
Welke weerstanden bezitten de grootste nauwkeurigheid?	

G E H E U G E N S T E U N

Bij de test worden deze geheugensteunen uitgereikt. We raden u aan er vooraf mee te leren werken.

CODERING VAN DIVERSE WEERSTANDEN

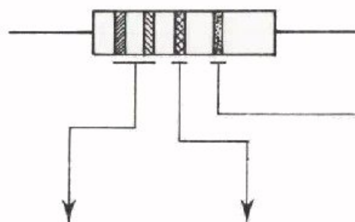
Kleur- code- ring	met 4 ringen	eerste 2 cijfers vermenigvul- digfactor tolerantie in %	Koolweerstanden E12-reeks ± 10% E24-reeks ± 5,2% en 1%
			Metaalfilmweerstanden E24-reeks ± 2%
	met 5 ringen	eerste 3 cijfers vermenigvul- digfactor tolerantie in %	Metaalfilmweerstanden E96-reeks ± 1%
cijfer- code- ring	waarde in cijfers	b.v. 8,3 Ω ± 2% 5,6 kΩ ± 1% 1,2 MΩ ± 2%	Koolweerstanden
		8E2 ± 5% 5K6 ± 1% 1M2 ± 2%	Draadgewonden- weerstanden
	waarde in cijfer- code	4 cijfers gevolgd door letter 2212F eerste 3 cijfers aantal nullen tolerantie Bijv.: 2212F = 22,1 k ± 1% B = ± 0,1%; C = ± 0,25% D = ± 0,5%; F = ± 1%	Metaalfilmweerstanden E96-reeks ± 1% E192-reeks ± 0,1% ± 0,25% ± 0,5% ± 1%
		3 cijfers (waarbij R, K of M de komma aangeeft) gevolgd door een letter. Bijv.: 22K1 B - 22,1 kΩ ± 0,1% 22R1 F - 22,1 Ω ± 1%	Metaalfilmweerstanden E96-reeks ± 1% E192-reeks ± 0,1% ± 0,25% ± 0,5% ± 1%

G E H E U G E N S T E U N

OVERZICHT BIJZONDERE WEERSTANDEN

NTC-weerstand	grote negatieve temperatuur-coëfficiënt	R, θ	thermometer	
PTC-weerstand	grote positieve temperatuur-coëfficiënt	R, θ	stroombe-grenzer	I, U
VDR	weerstand is spannings-afhankelijk	R, U	spannings-begrenzer	U, I
LDR	weerstand afhankelijk van hoeveelheid licht	R, lichtsterkte	licht-indicator	

KLEURCODERING



kleur	cijfer	vermenigvuldig factor	tolerantie
zwart	0	x 1	
bruin	1	x 10	± 1%
rood	2	x 10^2	± 2%
oranje	3	x 10^3	
geel	4	x 10^4	
groen	5	x 10^5	
blauw	6	x 10^6	
violet	7	-	
grijs	8	-	
wit	9	-	
zilver	-	-	± 10%
goud	-	x 0,1	± 5%

G E H E U G E N S T E U N

OVERZICHT VAN DE VERSCHILLENDE WEERSTANDREEKSEN

E192	E96	E48	E192	E96	E48	E192	E96	E48	E192	E96	E48	E192	E96	E48
100	100	100	169	169	169	284			481			816		
101			172			287	287	287	487	487	487	825	825	825
102	102		174	174		291			493			835		
104			176			294	294		499	499		845	845	
105	105	105	178	178	178	298			505			856		
106			180			301	301	301	511	511	511	866	866	866
107	107		182	182		305			517			876		
109			184			309	309		523	523		887	887	
110	110	110	187	187	187	312			530			898		
111			189			316	316	316	536	536	536	909	909	909
113	113		191	191		320			542			920		
114			193			324	324		549	549		931	931	
115	115	115	196	197	197	328			556			942		
117			198			332	332	332	562	562	562	953	953	953
118	118		200	200		336			569			965		
120			203			340	340		576	576		976	976	
121	121	121	205	205	205	344			583			988		
123			208			348	348	348	590	590	590			
124	124		210	210		352			597					
126			213			357	357		604	604		E24	E12	E6
127	127	127	215	215	215	361			612			10	10	10
129			218			365	365	365	619	619	619	11		
130	130					370			626			12	12	
132			221	221		374	374		634	634		13		
133	133	133	223			379			642			15	15	15
135			226	226	226	383	383	383	649	649	649	16		
137	137		229			388			657			18	18	
138			232	232		392	392		665	665		20		
140	140	140	234			397			673			22	22	22
142			237	237	237	402	402	402	681	681	681	24		
143	143		240			407			690			27	27	
145			243	243		412	412		698	698		30		
147	147	147	246			417			706			33	33	33
149			249	249	249	422	422	422	715	715	715	36		
150	150		252			427			723			39	39	
152			255	255		432	432		732	732		43		
154	154	154	258			437			741			47	47	47
156			261	261	261	442	442	442	750	750	750	51		
158	158		264			448			759			56	56	
160			267	267		543	543		768	768		62		
162	162	162	271			459			777			68	68	68
164			274	274	274	464	464	464	787	787	787	75		
165	165		277			479			796			82	82	
167			280	280		475	475		806	806		91		

G E H E U G E N S T E U N

TOELAATBAAR VERMOGEN VAN WEERSTANDEN BIJ EEN OMGEVINGSTEMPERATUUR VAN 70 °C

Koolweerstanden	Metaalfilmweerstanden
CR 16 - 0,2 W CR 25 - 0,33 W CR 37 - 0,5 W CR 52 - 0,67 W CR 68 - 1,15 W CR 93 - 2 W	MR 24 - 0,4 W MR 25 - 0,4 W MR 30 - 0,5 W MR 34 - 0,5 W MR 52 - 0,75 W MR 24 E/C - 0,1 W MR 34 E/C - 0,125 W MR 54 E/C - 0,25 W MR 74 E/C - 0,5 W MR 24 D - 0,125 W MR 34 D - 0,25 W MR 54 D - 0,5 W MR 74 D - 0,75 W PR 37 - 1,6 W PR 52 - 2,5 W

